

POHJAVEDEN SUOJELU ASFALTTIASEMILLA

TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUS
RAKENNUSOSASTO/TIENRAKENNUSTOIMISTO

TVH 731619

Helsinki 1983

POHJAVEDEN SUOJELU ASFALTTIASSEMILLA

TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUS
RAKENNUSOSASTO/TIENRAKENNUSTOIMISTO

TVH 731619

Helsinki 1983

ISBN 951-46-5610-5

Helsinki 1983, Valtion painatuskeskus

SISÄLLYS

	Sivu
1. JOHDANTO	1
2. ASFALTTIASEMILLA KÄYTETTÄVÄT AINEET JA NIIDEN KÄSITTELY	2
2.1 Bitumiset sideaineet	2
2.2 Asfaltin kiviainekset	5
2.3 Asfaltin lisäaineet	5
2.4 Muut asfalttiasemilla käytettävät aineet	7
3. ASFALTTIASEMILLA KÄYTETTÄVIEN AINEIDEN HAITALLISUUS POHJAVESILLE	9
3.1 Sideaineet	9
3.2 Kiviainekset	10
3.3 Asfaltin lisäaineet	11
3.4 Muut asfalttiasemilla käytettävät aineet	11
4. AINEIDEN KÄYTTÄYTYMINEN MAASSA	12
4.1 Maahan imeytyminen ja pidättyminen	12
4.2 Kulkeutuminen	14
4.3 Vaikutusetaisyyden arvioiminen käytännössä	19
4.4 Pohjaveden laatu ja puhdistuskyky	20
5. KENTTÄKOKKEET	21
5.1 Suojatoimien tehokkuus	21
5.2 Öljyn pidättyminen ja leviäminen	22
6. SUOJAETÄISYYDET JA -TOIMENPITEET	29
6.1 Aseman sijoittaminen ja suojaetäisyydet	29
6.2 Suojatoimet	31
6.3 Toimenpiteiden riittävyyden arviointi ja lähemmät selvitykset	32
7. VAHINGON TORJUNTA	32
7.1 Yleiset periaatteet	32
7.2 Ensimmäiset toimenpiteet	33
7.3 Varsinaiset vahingontorjuntatoimenpiteet	34
7.4 Jatkotoimet ja jälkitarkkailu	35
8. YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT	36
KIRJALLISUUS JA AINEISTON LÄHTEET	38

1. JOHDANTO

Ympäristönsuojelussa käytetyn ns. aiheuttamisperiaatteen mukaan toiminnanharjoittaja on velvollinen huolehtimaan haitan estämisestä ja suorittamaan tästä aiheutuvat kustannukset. Tien päällystystöiden vesiensuojelun ongelmat ilmenevät erityisesti asfalttiasemilla, joilla käytetään runsaasti polttoöljyä, mutta myös monenlaisia muita tuotteita. Jouduttaessa toimimaan sora- ja hiekka-alueilla, on tärkeää, että työmailla ollaan riittävän tietoisia vesiensuojelun perusteista, jotta pystytään etukäteen arvioimaan mahdolliset odotettavissa olevat ongelmat, hoitamaan suoja-toimet asianmukaisesti ja, jos haitallisia aineksia pääsee vahingossa maahan, on valmius ja taito estää vahingon syntyminen tai rajoittaa se mahdollisimman pieneksi.

Nämä ohjeet on laadittu selvennykseksi ja lisätiedoksi pohjavesiasioiden arviointia ja käsittelyä varten asfalttiasemilla, mutta niitä voidaan soveltaen käyttää myös muualla. Aluksi käsitellään asfalttiasemilla käytettäviä aineita. Näiden haitallisuus pohjavedelle sekä käyttäytyminen maassa kuvataan. Lopussa esitetään ohjeet suojaetäisyyksiksi ja toimenpiteiksi sekä vahingontorjunnassa tarpeelliset toimenpiteet kiireellisyysjärjestyksineen.

2. ASFALTTIASEMILLA KÄYTETTÄVÄT AINEET JA NIIDEN KÄSITTELY

2.1 Bitumiset sideaineet

Bituminen sideaine on bitumien, luonnonasfalttien, kivihiilitervojen, pikien yms. tuotteiden ja niistä valmistettujen liuosten ja emulsioiden yhteisnimitys. Kivihiilitervaa ei Suomessa käytetä tienpäälylystämiseen.

Sideaineen osuus päällystemassasta vaihtelee päällystetyypistä ja -lajista riippuen 3-10 %. Vuosittain TVL:n töissä käytetään bitumisia sideaineita noin 150 000 t.

Bitumi on maaöljystä valmistettu tai luonnonasfaltista saatu trikloorieteeniin liukeneva jähmeä tai puolijähmeä pääasiassa hiilivetyjä sisältävä tuote, jonka tiheys on 0,95-1,1 g/cm³ ja tislautumisalue yli 400°C. Kuumennettaessa bitumia 5 h ajan 160°C on sen haihtuvuus muutamia sadasosaprosentteja.

Bitumin rakennetta ei yksityiskohtaisesti tunneta. Bitumi sisältää 3-6 paino-% rikkiä, pieniä määriä happea ja tyypeä sekä hivenpitoisuuksina mm. vanadiinia (250 ppm) ja kuparia (5 ppm). Hiilestä on 2/3 sitoutunut parafiini- ja nafteenihiilivetyihin ja 1/3 aromaattisiin yhdisteisiin. Rikki ja metallit ovat eräiden tietojen mukaan sitoutuneina. Pitoisuudet vaihtelevat bitumin alkuperästä riippuen.

Bitumissa on lisäksi vaihtelevia määriä maaöljystä peräisin olevia polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä (PAH). Näistä tunnetuin lienee syöpää aiheuttava bentso(a)pyreeni (BaP). BaP-pitoisuus on vaihdellut 0,1-27 µg/g eri bitumilaaduissa.

Bitumi tuodaan asfalttiasemalle kuumana tankkiautoissa, joista se pumpataan säiliöön. Tässä yhteydessä voi päästä roiskeita maahan. Kuumennettu bitumi pumpataan säiliöstä edelleen putkia pitkin sekoittajaan. Ainoastaan häiriötapauksissa ja koneaseman purkamisen yhteydessä on mahdollista, että bitumia pääsee aseman rakenteista maaperään. Maahan päässyt aine jähmettyy.

Tislattu bitumi on pääosin tislauksen menetelmän valmistettua maaöljybitumia, jota käytetään asfalttibetonin, bitumisoran ja -hiekan, valuasfaltin ym. kuumana sekoitettavien asfalttimassojen sideaineena. Tislauolosuhteista riippuen voidaan valmistaa kovuudeltaan erilaisia tislattuja bitumeja, joiden viskositeetti 60°C lämpötilassa vaihtelee välillä 8,5...290 Pas ja 135°C lämpötilassa 130...400 mm²/s. Tislattun bitumin tiheys on 1020 kg/m³ ja liukoisuus trikloorieteeniin yli 99,5 paino-%.

Tislattujen bitumien metallipitoisuudet vaihtelevat bitumin alkuperästä riippuen seuraavasti:

Taulukko 1 Bitumien metallipitoisuuksien vaihtelu

Aine		µg/l
Rauta	(Fe)	18 - 30
Nikkeli	(Ni)	78 - 115
Vanadiini	(V)	405 - 620
Lyijy	(Pb)	0,1 - 0,6
Kadmium	(Cd)	0,1 - 0,6

Bitumiliuos on tislatusa bitumista ja haihtuvasta hiilivetyliuottimesta valmistettu liuos. Ohennusaineena on tavallisesti liuotinbenssiini, jossa on aromaattisia hiilivetyjä noin 15 % ja jonka kiehumisväli on 140-200°C. Eri bitumiliuoslajien viskositeetti 60°C lämpötilassa on 20-4000 mm²/s.

Bitumiliuksen yhteydessä tartukkeena käytetään yleensä diamiinia. Bitumiliuosta ei käytetä asfalttiaseilla, vaan päällystekerrosten liimauksessa alustaan 0,2-0,4 kg/m² sekä sirote- ja sorapintaustöissä 1,1-2,6 kg/m². Bitumin haihtumista tai hajoamista ei käytön yhteydessä tapahdu, mutta käyttölämpötilan ollessa jopa 160°C tapahtuu osittaista ohennusaineen höyrystymistä.

Bitumiemulsiot valmistetaan emulgoimalla bitumi joko happamassa tai emäksisessä vesiliuoksessa.

Happamien bitumiemulsioiden viskositeetti 25°C:ssa on 35-170 mm²/s ja 50°C:ssa 200-600 mm²/s.

Bitumiemulsiosta tislautuu alle 260°C lämpötilassa korkeintaan 35-45 til.-%. Tämä on pääasiassa vettä, jonka lisäksi voi tislautua liuotinta, jos sitä on käytetty emulsion valmistuksessa; yleensä enintään 10 %. Käyttölämpötila on 10-60°C. Happamat bitumiemulsiot ovat yleisimpiä ja niitä käytetään samoin kuin bitumiliukuksia.

Emulgaattoreina käytetään rasva-amiineja tai rasvahappojen suoloja, joita lisätään noin 1 %. Joissakin bitumiemulsiolaaduissa on pieniä määriä liuotinbenssiiniä.

Bitumiemulsioita käytetään päällystekerrosten liimaukseen 0,3-0,5 kg/m² ja sirotepintausten korjauksissa. Niitä ei siten käytetä asfalttiaseilla.

Bitumiöljyt valmistetaan maaöljyn tislauksjäännöksistä ja hitaasti haihtuvasta tisleestä, jotka eivät saa olla peräisin krakkausprosessista (krakkaus = hiilivetyjen ym. pilkkominen suuressa paineessa ja korkeassa lämpötilassa). Bitumiöljyissä käytetään kaa-suöljyä, joka on raakaöljyn suoratislausjäte. Bitumiöljyn valmistuksessa voidaan käyttää myös raskasta polttoöljyä muistuttavaa, raakaöljyn yli 350°C lämpötilassa tislautuvaa osaa.

Bitumiöljyn viskositeetti 60°C:ssa on 250-8000 mm²/s.

Bitumiöljyjä käytetään öljysoran ja kevytasfalttibetonin sideaineena. Bitumiöljyn käyttölämpötila on 85-140°C. Bitumiöljyjä erotetaan eri laatuja viskositeetin, jakotislauksen ja tislauksjäännöksen viskositeetin mukaisesti. Bitumiöljy sekoitetaan kuumaan tai kylmään kiviainekseen asfalttikoneessa. Sekoitusvaiheessa voi bitumiöljyä päästä maaperään häiriötapauksissa tai huolimattomuuden seurauksena. Se etenee maaperässä erittäin huonosti. Yleensä pidättyminen tapahtuu maanpinnan alla lähes sataprosenttisesti jo ensimmäisten senttimetrin matkalla. Bitumiöljyjen pitoisuus vaihtelee valmistettavissa massoissa 3,2-4,5 %:n välillä. Tarvittaessa lisätään tartukkeeksi diamiinia tai mono- ja diamiiniseosta, jota käytetään 0,5-1,2 % sideaineesta.

Suurimolekyyllisistä yhdisteistä koostuneiden luonnon-asfalttien liukoisuus rikkihiileen on 40-95 %. Niitä käytetään valuasfalttien valmistamiseen.

Mineraaliaineksen osuus vaihtelee 1,5-27 %. Koostumus ja kemialliset ominaisuudet vaihtelevat raaka-aineen alkuperästä riippuen. Aromaattisten hiilivetyjen suhde tyydyttyihin vaihtelee 36-0,5. Alkuainekoostumus on jokseenkin sama kuin bitumeilla. Gilsoniitti on miltei puhdasta, hyvin kovaa bitumia. Trinidad-asfaltissa on noin 26 paino-% hienojakoista kiviainesta (80 paino-% alle 0,03 mm) ja noin 54 paino-% trikloorieteeniin liukenevaa bitumia. Hivenaineiden määrä luonnonasfaltissa on suuruusluokkaa:

Taulukko 2 Hivenaineiden määrä luonnonasfaltissa

Aine		mg/kg
Vanadiini	(V)	4-23400
Kromi	(Cr)	6
Mangaani	(Mn)	0,4
Rauta	(Fe)	420
Koboltti	(Co)	0,14
Nikkeli	(Ni)	1-3000
Kupari	(Cu)	1660
Sinkki	(Zn)	100

Hivenaineiden liukenemisesta eri olosuhteissa ei ole tietoja saatavissa.

PAH-aineiden määrä on luonnonasfalteissa pienempi kuin bitumeissa, esimerkiksi BaP-pitoisuus on noin 1 µg/g. Bitumissa ja luonnonasfaltissa olevat PAH-aineet ovat yleisesti ottaen kiinteitä, yli 300°C:ssa kiehuvia, veteen liukenemattomia aineita.

Bitumia ja asfalttia kuumennettaessa niistä haihtuu hyvin pieniä määriä hiilimonoksidia, metaania, rikkivetyä ja pienimolekyyllisiä aldehydejä.

2.2

Asfaltin kiviainekset

Kiviaineksina käytetään tavallisesti mursketta (murskesora tai seveli), hiekkaa ja kalkkikivijauhetta. Kiviaines ei sisällä mainittavissa määrin epäpuhtauksia, kuten savea, turvetta, humusta, multaa tai puuta, joten aineiden varastokasoista ei liukene maaperään sellaisia hienoaimes- tai orgaanisten aineiden määriä, joilla on merkitystä pohjavesien laatuun.

Täytejauhe koostuu kiviaineksen kuivausvaiheessa pölynerottimiin kertyvästä syklonijauheesta ja hienojakoisemmasta, erikseen lisättävästä täytejauheesta, joka yleisimmin on kalkkikiveä. Myös talkkia (vesipitoinen magnesiumsilikaatti), magnesiittia ($MgCO_3$) ja emäksistä lentotuhkaa voidaan käyttää. Vähintään 80 % täytejauheesta tulee läpäistä 0,074 mm seula. Yleisimmin käytetyt täytejauheet eivät niukkaliukoisuutensa takia ole vaarallisia pohjavedelle.

Päällysteissä voidaan lisäksi käyttää mm. masuuni-, teräs- ja metallikuonaa, kevytsoraa sekä valkoista luonnonaineksesta valmistettua tai keinotekoisista kiviainesta. Näiden aineiden, kuten muidenkin teollisuusjätteiden käytön edellytyksenä on mm., että erilisin selvityksin osoitetaan, ettei niiden käytöstä aiheudu pohjavesien pilaantumisvaaraa.

2.3

Asfaltin lisäaineet

Sideaineen ja kiviaineksen tarttuvuuden edistämiseksi voidaan sideaineeseen lisätä tartuketta. Tartuketta käytetään öljysorassa ja kevytasfalttibetoni- sekä SIP- ja SOP-töissä, mutta asfalttimassassa yleensä vain silloin, kun on syytä epäillä bitumin ja kiviaineksen huonoa tarttuvuutta.

Tartukkeet ovat useimmiten eläinrasvoista valmistettuja mono-, di- ja polyamiineja sekä näiden seoksia. Kemialliselta rakenteeltaan amiinit ovat alkyylimonoamiineja ($R-NH_2$), sekundäärisiä amiineja ($R-NH-R$) tai diamiineja ($R-NH-(CH_2)_3-NH_2$), joissa R tarkoittaa 14-18 hiiliatomia käsittävää alkyyliradikaalia. Huoneenlämmössä amiinit ovat jähmeitä tai puolijähmeitä.

Niiden kiehumispiste on $250-300^{\circ}C$. Alifaattiset monoamiinit ovat niukasti vesiliukoisia. Niukasti happamassa ympäristössä ne voivat jonkin verran emulgoitua, emäksisessä ne saostuvat kationiaktiivisuutensa takia. Amiineille on ominaista, että ne menettävät happipitoisessa ympäristössä kationiaktiivisuutensa ja liittyvät bitumin rakenteeseen.

Useimmat diamiinit ovat steariinihapon johdannaisia. Osassa on kaksoissidoksia. Diamiinit ovat yleensä kiinteitä. Diamiinien ammoniumpitoisuus on pieni, mutta ammoniakkin haju on todettavissa. Diamineissa saattaa olla epäpuhtautena veteen sekoitettavaa, voimakkaasti ammoniakille haisevaa nestettä propyyliamiinia ($CH_3CH_2CH_2NH_2$), jonka kiehumuspiste on $48-49^{\circ}C$. Amiinién valmistuksessa käytetään katalyysaattorina nikkeliä, jota saataa myös päästä valmiiseen tuotteeseen. Polyamiinit ovat useimmiten suoratai haaraketjuisia triamiineja. Kemiallisilta ominaisuuksiltaan polyamiinit ovat passiivisempia kuin mono- ja diamiinit. Niidet lämpötilakestävyys on myös parempi. Polyamiinit ovt toistaiseksi lähinnä kokeiluasteella eikä ole varmaa tulevatko ne yleiseen käyttöön.

Amiinien käyttömäärä on 0,8-1,2 % sideaineesta eli 0,04-0,07 % päällysteen koko määrästä. Käytettävä tartukelaji määräytyy sideaineen perusteella. Jos sideaineena on bitumi, tartukkeena käytetään di- ja polyamiineja. Käytettäessä bitumiöljyä öljysoran valmistukseen siihen lisätään 0,5-1,2 paino-% mono- ja diamiinien seosta tai diamiinia. Kevytasfalttibetonin valmistuksessa samoin kuin bitumiliuoksissa tartukkeena käytetään diamiinia. Bitumiemulsioissa ei tarvita tartuketta lainkaan.

Tartuke toimitetaan asfalttiasemille joko tynnyreissä, konteissa tai bitumiöljyn seassa. Tartukeastioita käsiteltäessä on tartukkeilla mahdollisuus päästä maaperään, mutta niiden jähmeyden takia pohjaveden likaantumisvaara on vähäinen. Maahan päässyt tartuke on kuitenkin työsuojelusyistä syytä korjata välittömästi pois.

Tienpäälysteissä voidaan käyttää tartukkeiden lisäksi muitakin lisäaineita.

2.4

Muut asfalttiasemilla käytettävät aineet

Asfalttiasemalla käytetään kiviaineksen kuivaamiseen ja kuumentamiseen sekä kevyttä että raskasta polttoöljyä (Pö 1 ja Pö 4). Huolimatta siitä, että erityisesti asutuskustusten läheisyydessä oleville asemille on suositeltu kevyen polttoöljyn käyttöä, ollaan asfalttiasemilla siirtymässä kustannussyistä yhä enenevään raskaan polttoöljyn käyttöön. V. 1980 raskaan polttoöljyn osuus asfalttiasemilla käytettävästä öljystä oli 20 % luokkaa.

Öljyjen koostumus vaihtelee suuresti sen mukaan, mistä kyseinen öljy on peräisin. Öljyt koostuvat pääasiassa suurimolekyylisistä nestemäisistä hiilivedyistä, joista suurin osa on suoraketjuisia parafinihiilivetyjä, mutta osa tyydyttämättömiä suoraketjuisia ja rengasrakenteisia hiilivetyjä. Orgaanisten rikkiyhdisteiden pitoisuus vaihtelee 1...5 paino-%. Raskasmetallien ym. hivenainepitoisuuksina esiintyvien alkuaineiden pitoisuudet ovat suuruusluokkaa:

Taulukko 3 Raskasmetallien ym. alkuaineiden pitoisuudet öljyissä

Aine	PPM	Aine	PPM
Na	2	Co	0,2
Mg	0,1	Ni	10
Al	0,5	Cu	0,14
Ca	5	Zn	0,25
Ti	0,1	Se	0,17
V	50	Sr	0,1
Cr	0,3	Mo	10
Mn	0,1	Ba	0,1
Fe	2,5	Pb	0,3

Öljytuotteita poltettaessa osa näistä sitoutuu tuhkaan ja kuonaan ja osa vapautuu ilmaan. Lisäksi vapautuvat keskimäärin polttoainetonna kohden:

aldehydejä	75 g,
BaP	1,4 mg,
hiilimonoksidia	5 g,
typen oksideja	13 kg ja
rikin oksideja	10-50 kg.

Ilman kautta tapahtuvan pohjaveden pilaantumisen vaara on kuitenkin sangen vähäinen.

Kevyen polttoöljyn (Pö 1) tiheys on 0,82-0,86 kg/dm³ ja viskositeetti 20°C:ssa korkeintaan 7 mm²/s. Kevyt polttoöljy pysyy nestemäisenä lämpötilan ollessa korkeampi kuin -5°C. Yli 90 % kevyestä polttoöljystä tislautuu alle 360°C lämpötilassa. Rikkipitoisuus kevyessä polttoöljyssä on korkeintaan 1,5 paino-%. Saatujen tietojen mukaan se on 0,8 paino-%, ja ras-
kaassa polttoöljyssä 2,5-3,0 paino-%. Raskaan polttoöljyn (Pö 4) tiheys on 0,88-0,90 kg/dm³ ja viskositeetti 50°C:ssa korkeintaan 230 mm²/s.

Öljyt eivät ole vesiliukoisia, mutta ne liukenevat esimerkiksi bentseeniin ja kloroformiin.

Asemasta riippuen öljyä kuluu 6-10 l massatonnia kohti. Keskimääräisenä öljynkulutuksena voidaan pitää 8 litraa tuotettua massatonnia kohti. Koneasemien tehon ollessa 50-300 tonnia/h, on käytettävä öljymäärä asemaa kohti 400-2400 litraa tunnissa.

Asfalttiasemien yhteydessä olevissa laboratorioissa käytetään bitumin liuottimena metyleenikloridia (= dikloorimetaani, CH₂Cl₂). Metyleenikloridi on veteen heikosti liukeneva neste, jonka kiehumispiste on 40°C. Metyleenikloridin tiheys on 1,326 kg/dm³. Metyleenikloridi on narkoottinen aine, jota käytetään mm. paikallispuudutukseen. Sen käsittelyssä on varotettava aineen pääsyä silmiin.

Myös autojen lavat sivellään joskus jollakin öljytuotteella massan kiinnittymisen estämiseksi. Koneiden huolto- ja puhdistustöitä suoritetaan paitsi kesä- myös talvikaudella. Talvikauden korjaukset tehdään yleensä korjaamoilla.

Metyleenikloridin käyttö asfalttiasemaa kohti on noin 10 l/d. Käytetty metyleenikloridi kootaan jätetynnyreihin, joissa se kuljetetaan puhdistettavaksi uutta käyttöä varten.

Päällystemassojen valmistuksessa voidaan raaka-aineenä käyttää myös vanhaa käytöstä poistettua, murskattua päällystearainesta. Käytettävissä olevien tietojen mukaan liikenteestä yms. peräisin olevien raskasmetallien tai muiden haitallisten aineiden kertymistä ei näissä aineksissa ole havaittu.

3. ASFALTTIASEMILLA KÄYTETTÄVIEN AINEIDEN HAITALLISUUS POHJAVESILLE

3.1

Sideaineet

Bitumin, luonnonasfaltin ym. sideaineiden vaikutukset pohjavesiin ovat vähäisiä, koska nämä aineet eivät ole vesiliukoisia. Ne ovat niin jähmeitä, etteivät ne sellaisenaan kulkeudu maaperässä.

Käytettäessä bitumia korkeassa lämpötilassa tapahtuu krakkautumista ja siitä haihtuu pieniä määriä kaasumaisia aineita, kuten hiilimonoksidia, rikkivetyä, pienimolekyyllisiä aldehydejä ja fenoleja, jotka voivat liueta sadeveteen ja joutua sen mukana maaperään. Päästöt ilmaan ovat kuitenkin niin pieniä, ettei haitallisten pitoisuuksien muodostuminen pohjaveeteen ole todennäköistä. Bitumin yms. aineiden ei ole todettu aiheuttavan haittaa kasvillisuudelle.

Metallien pitoisuudet bitumissa ja asfaltissa vaihtelevat suuresti raaka-aineen alkuperästä riippuen. Metallit ovat bitumissa eräiden tietojen mukaan alkuainemuodossa, joten vapaat metalli-ionit voivat muodostaa maaperässä savikolloidien tai orgaanisen aineksen kanssa negatiivisesti varattuja tai varauksettomia kompleksiyhdisteitä, jotka eivät saostu eivätkä muutenkaan sitoudu maahiukkasiin vaan voivat kulkeutua pohjavesiin. Saatujen tietojen mukaan ne ovat metalliorgaanisina yhdisteinä, useimmiten ns. porfyriineinä, joita esiintyy elollisessa luonnossa. Ne eivät normaalissa käytössä voi päästä ihmisen elimistöön eivätkä ne voi erottua bitumista veteen liukenemalla. Kohdassa 2.1. mainituista bitumissa ja asfaltissa olevista metalleista pidetään vanadiinia (V) ja nikkeliä (Ni) ihmisen terveyden kannalta haitallisimpina, joskin eräiden toistenkin metallien tiedetään suurina kerta-annoksina tai jatkuvasti pieninä annoksina saatuina aiheuttavan terveydellistä vaaraa. Vaikutustapansa perusteella bitumin sisältämät metallit jakautuvat syöpää (Ni, Cr^{6+} , Co, Pb), vatsavaivoja (V, Cu, Zn) tai ihottumaa (Cr^{3+} , Co, aiheuttaviin. Fe ja Mn pidetään terveydellisesti jokseenkin vaarattomina.

Lääkintöhallitus on asettanut talousvedessä oleville vaarallisille aineille suurimmat sallitut pitoisuudet siten, että veden jatkuva käyttö on kiellettyä, jos yksikin pitoisuus ylitetään. Vaarallisiin aineisiin luetaan mm. kromi ja lyijy, joiden raja-arvot ovat:

Taulukko 4 Lääkintöhallituksen määrittelemät kromin ja lyijyn raja-arvot talousvedessä

Aine	mg/l
Cr	0,05
Pb	0,05

Muita edellä lueteltuja metalleja ei pidetä tässä mielessä vaarallisina lukuunottamatta vanadiinia (V), jolle ei maksimipitoisuutta ole ilmoitettu, mutta jota kehoitetaan tarkkailemaan, milloin on syytä epäillä vanadiinia pääsevän veteen. Lääkintöhallitus on lisäksi asettanut talousveden kupari-, mangaani-, rauta- ja sinkkipitoisuuksille seuraavat raja-arvot, joiden ylittämisen katsotaan huomattavasti vähentävän talousveden kelvollisuutta:

Taulukko 5 Lääkintöhallituksen muille metalleille määrittelemät raja-arvot talousvedessä

Aine	mg/l
Cu	1,0
Mn	0,5
Fe	1,0
Zn	3,0

Pohjaveden käsittelyprosessissa on raskaiden metallien saostuminen vähäistä lukuunottamatta rautaa.

Huolimatta siitä, että edellä luetelluista metalleista ainakin kupari, nikkeli, lyijy ja sinkki ovat aerobisissa oloissa vedessä liuenneina ioni- tai kompleksimuodossa, ei haitallisina pidettävien metallipitoisuuksien esiintymistä asfalttiasemien vaikutusalueella voida pitää todennäköisenä.

Syöpäsairauksia aiheuttavat PAH-aineet kuuluvat aineisiin, joiden käyttö on sallittu, mutta joiden osalta on noudatettava valtioneuvoston päätöksen mukaisia työturvallisuusohjeita. PAH-aineet ovat yleisesti veteen niukkaliukoisia. Luonteenomaista niille on lisäksi, että ne eivät hajoa helposti veden, hapon, alkalin tai biologisen toiminnan vaikutuksesta. Ne eivät myöskään haihdu, joten ne eivät normaalilämpötiloissa siirry hengitysilmaan.

3.2

Kiviainekset

Asfaltin kiviainekselle asetettavat tekniset laatuvaatimukset edellyttävät, ettei kiviaines sisällä vesiliukoisia komponentteja. Sekä luonnon kiviaines että massaan lisättävät täytejauheet ovat käytännöllisesti katsoen veteen liukenemattomia.

Kiviaineksen kuumentamisessa syntyvää savukaasua käsitellään sekä kuiva- että märkäerottimin. Vesi kiertää märkäerottimissa jatkuvasti. Märkäerottimen vesi vaihdetaan ajoittain sen tultua likaiseksi. Märkäerotuksessa säiliöön kertyvä liete ($5...15 \text{ m}^3/\text{d}$) kuljetetaan kaatopaikalle tai muulle öljyntorjuntaviranomaisen hyväksymälle paikalle, koska se voi sisältää palamatonta polttoöljyä ja rikkiä.

3.3 Asfaltin lisäaineet

Asfaltin lisäaineista on ympäristön kannalta merkitystä tartukkeena käytettävillä amiineilla. Muut lisäaineet ovat niukkaliukoisuutensa ja inaktiivisuutensa vuoksi pohjavesien kannalta vaarattomia.

Amiinit ovat monimuotoinen aineryhmä, joiden suurinta sallittua pitoisuutta esimerkiksi talousvedessä ei ole määritetty. Amiinien käytön ollessa asfalttiasemilla vähäistä (ainoastaan öljysoran valmistuksessa) ja niiden ollessa maaperän lämpötilassa jähmeitä ja käytännöllisesti katsoen veteen liukenemattomia voitaneen katsoa, ettei niistä aiheudu vaaraa pohjavedelle. Amiineissa epäpuhtauksina esiintyvien ainesten sekä aineryhmän ympäristövaikutuksia koskevien tutkimustulosten vähäisyyden takia on niiden mahdollisiin vaikutuksiin syytä kiinnittää huomiota, kunnes tutkimustuloksia on riittävästi käytettävissä.

3.4 Muut asfalttiasemilla käytettävät aineet

Asfalttiasemilla käytettävistä öljytuotteista on polttoaineena käytettävä kevyt polttoöljy (PÖ 1) maaperän ja pohjaveden kannalta haitallisin.

Vaikka raskas polttoöljy sisältää runsaammin epäpuhtauksia, on kevyttä polttoöljyä pidettävä hieman haitallisempana pienen viskositeettinsa takia. Maahan imeytyneet öljytuotteet, joihin kevyen polttoöljyn lisäksi kuuluu mm. bensiini, kykenevät jo hyvin pieninä pitoisuuksina antamaan vedelle epämiellyttävän hajun ja maun. Hajukynnyksen ilmoitetaan bensiinillä olevan $0,05 \text{ mg/l}$.

Asfalttiasemien laboratoriossa liuottimena käytettävän metyleenikloridin helppo haihtuvuus ja niukkaliukoisuus veteen sekä käsiteltävät pienehköt ainemäärät vähentävät sen aiheuttamaa pohjaveden pilaantumisriskiä. Talousveden laatuvaatimuksissa ei raja-arvoja orgaanisille yhdisteille ole annettu. Haihtuessa syntyvien myrkyllisten kaasujen vuoksi metyleenikloridi luetaan toisen luokan myrkyksi. Nautittuna se ei kuitenkaan liene kovin myrkyllistä, koska se mm. USA:ssa on hyväksytty käytettäväksi lisäaineena ihmisen ravinnossa.

Muista aineista käytännön merkitystä pohjavesien pilaantumisriskin kannalta saattaa lisäksi olla koneiden puhdistuksessa käytettävällä raskasbensiinillä. Muiden aineiden määrät tai ominaisuudet ovat yleensä sellaisia, etteivät ne pääse pohjaveteen haittaa aiheuttavina määrinä.

4. AINEIDEN KÄYTTÄYTYMINEN MAASSA

4.1 Maahan imeytyminen ja pidättäminen

Öljytuotteiden hajoaminen maaperässä riippuu mm. öljyn laadusta, imeytymissyvyydestä, maaperästä, lämpötilasta ja happamuudesta. Keskimääräisenä säilymisaikana ilmoitetaan esimerkiksi PÖ I:lle 35-70 vuotta.

Maahan joutunut pieni määrä öljyä ei yleensä etene lähtöpaikastaan kovinkaan kauas, vaan se jää lähteen ehdyttyä rajalliseksi loppuleviämäksi. Leviämän tilavuus riippuu suotautuneen öljyn määrästä ja maaperälle ominaisesta öljyn tasapainopitoisuudesta.

Tästä johtuen eivät pienet päästöt (ylärajana voitaneen pitää 200 l) ole yleensä vaarallista. Öljy voidaan poistaa maaperästä ja tehdä vaarattomaksi kaivamalla likaantunut maa pois ja kuljettamalla se kaatopaikalle tai muulle jätehuoltoviranomaisen osoittamalle paikalle. Tätä suurempien päästöjen ollessa kyseessä on pohjaveden pilaantumiswaara suuri.

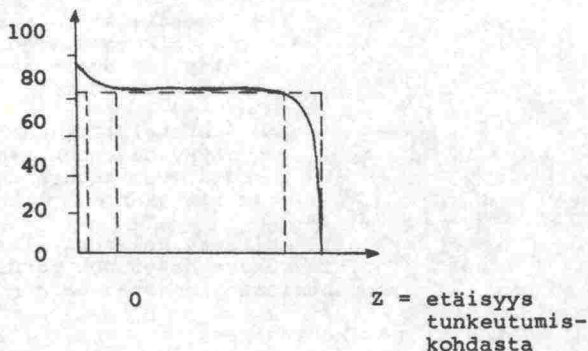
Maaperään päässeet aineet etenevät ja tunkeutuvat maassa niiden ominaisuuksien (viskositeetti, liukoisuus) ja maaperän ominaisuuksien mukaisesti. Kulkeutumisteinä toimivat maaperän huokokset, halkeamat ja ontelot. Maaperä on oloissamme useimmiten epähomogeenista. Tällä seikalla on suuri vaikutus öljyn samoin kuin muidenkin maaperään joutuneiden aineiden leviämisenopeuteen ja leviämän muotoon. Nestemäinen liika-aine, esim. lämmitysöljy, vajoaa maaperässä alaspäin painovoiman ja vajovesien vaikutuksesta leviten kahden erilaisen maakerroksen rajapinnalla niiden läpäisevyyksien suhteessa.

Suomalaisissa maalajimuodostumissa huokostilavuus, jossa vesi pääsee virtaamaan, on suuruusluokkaa 20-60 %. Huokostilavuus on sitä suurempi, mitä hienorakeisempi maalaji on. Samaan suuntaan vaikuttaa tasarakeisuus: Sulloutuneisuus vähentää huokostilavuutta. Veden virtauksen kannalta on lisäksi tärkeää huokosten koko. Saven ja siltin suuresta huokostilavuudesta huolimatta on veden virtaus vähäistä huokosten pienen koon takia. Normaalin hiekan ja hiekanseksaisen soran huokoisuus vaihtelee 25 ja 30 % välillä. Huokoisuus vaikuttaa maaperään pidättävän öljyn määrään, huokosten koko puolestaan leviämisen nopeuteen.

Kahdesta aineesta se, jolla on suurempi pintajännitys suhteessa kiinteään aineeseen, tässä tapauksessa kiviainekseen, muodostaa siihen pienemmän rajapinnan kuin aine, jolla on pienempi pintajännitys. Suurempi pintajännityksinen "huonommin kasteleva aine" täyttää suuret huokoset ja pienempi pintajännityksinen "paremmin kasteleva aine" pienet huokoset. Nyt tarkasteltavassa ilma-öljy-vesisysteemissä vesi on paremmin kasteleva kuin öljy, joka vuorostaan on paremmin kasteleva kuin ilma. Maaperän vedenläpäisevyys pienenee nopeasti vesipitoisuuden pienentyessä ja tulee yleensä nolllaksi noin 20-30 % vesipitoisuudessa, jolloin veden eteneminen pysähtyy. Öljyllä sitävastoin läpäisevyyden väheneminen on aluksi vähäistä noin 85 % pitoisuuteen asti, mistä alkaa nopea suhteellisen läpäisevyyden pienentyminen. Se tulee nolllaksi noin 10 % pitoisuudessa. Tämä pitoisuus vastaa jäännöspitoisuutta maaperässä.

Kuva 1 Periaatepiirros maaperään tunkeutuvan öljyyntymän pitoisuusjakautumasta

S = pitoisuus
% huokostilasta



Edellä mainittu lepopitoisuus riippuu nesteen laadusta, maalajista, vesipitoisuudesta ja niistä voimista, jotka öljyn liikkeen aiheuttavat, sen vuoksi ei ainoastaan erilaisilla maalajeilla, vaan myös öljyn virtauksilla vajovesi-, kapillaari- ja pohjavesivyyhykkeessä on omat lepopitoisuutensa. Seuraavassa esitetään taulukko Billib'n julkaiseman tiedon mukaisesti PÖ 1:n jäännöspitoisuudesta eri maalajeissa (vajovesivyyhyke).

Taulukko 6 PÖ 1:n jäännöspitoisuus eri maalajeissa

Maalaji	Jäännöspitoisuus tilavuus-% huokostilasta
Sora	2-3
Hiekka	3-4
Karkea siltti	6-8
Hieno siltti	10-15

Eri öljytuotteiden (kevyt polttoöljy, petrooli ja bensiini) pidättymisestä eri maalajeissa on tehty seuraavia yleishavaintoja (Suomela T, 1972):

- Maan vesipitoisuuden kasvaessa öljyn jäännöspidätyskyky pienenee. Myös öljyn kyllästysaste vesihuuhtelun jälkeen on alun perin vesipitoisilla maanäytteillä pienempi kuin kuivilla.
- Mitä pienempi maan keskimääräinen raekoko on, sitä suurempi on öljyn jäännöskyllästysaste sekä ennen että jälkeen vesihuuhtelun.
- Karkearakeisilla maalajeilla on sekä ennen että jälkeen vesihuuhtelun kevyellä polttoöljyllä suurin ja petroolilla pienin jäännöskyllästysaste.
- Hienorakeisilla maalajeilla ei jäännöspidätyskyvyssä ennen vesihuuhtelua ole suuria eroja; vesihuuhtelun jälkeen on bensiinillä suurin jäännöskyllästysaste.

Edellä esitetty vesihuuhtelu laboratorio-oloissa, joihin tehty havainnot perustuvat, voidaan luonnonolosuhteissa rinnastaa sateen vaikutukseen.

4.2

Kulkeutuminen

Öljy kulkeutuu maaperässä periaatteessa kahdella eri tavalla: erillisenä veteen liukenemattomana massana pohjavedenpinnan ylä- ja myös osittain alapuolella ja tästä massasta vajoveden tai pohjaveden liuottamana aineena pohjaveden mukana.

Öljyn pystysuoralle suotautumisnopeudelle maaperässä on johdettu useita eri laskutapoja. Ne ovat kuitenkin kaikki integrointia vaativia monimutkaisia laskumenetelmiä, joiden käytännön merkitys on toistaiseksi jäänyt vähäiseksi. Tämä johtuu siitä, että vaikuttavat epämääräisyystekijät, maaperän epähomogeenisuus ja vesipitoisuuden vaihtelu, vaikuttavat liian voimakkaasti tulokseen käytännön sovellutuksissa. Tärkeämpää on tietää pystysuoran suotautumisen nopeus kuin tarkastella suurinta syvyyttä, johon tietty öljymäärä saattaa maaperässä tunkeutua.

Laskennan merkitys on siinä, että pystytään arvioimaan pääseekö öljy etenemään kapillaari- tai pohjavesivyöhykkeeseen asti. Laskenta on tärkeää myös kaivusvyöhykkeen määrittelyssä massoja poistettaessa.

Maksimisvyöhykkeen arvioimiseen on yleensä käytetty kokemuseräistä kaavaa

$$Z_{\max} (m) = \frac{Q_0}{F_0 \cdot P \cdot S_r} \quad (1)$$

Q_0 = maahan imeytynyt öljymäärä (m^3)

F_0 = öljyyntymän keskimääräinen poikkipinta-ala (m^2)

P = huokoisuus

S_r = jäännöspitoisuus

Esitetty laskutapa antaa käytännössä hiukan liian suuria arvoja.

Esimerkki: $10 m^3$ kevyttä polttoöljyä on kaatunut maahan, josta se on imeytynyt maaperään. Imeytymisalueen säde on keskimäärin 4 m. Maaperä on keskikarkeaa hiekkaa, jonka huokoisuus on 33 %. Öljyn jäännöspitoisuudeksi oletetaan 10 % (perustelu myöhemmin tekstissä, taulukot 7 ja 8). Pohjaveden pinta on 5 m maanpinnan alapuolella. Maksimisvyöhykkeeksi saadaan kaavalla 1:

$$Z_{\max} = \frac{10 m^3}{3.14 \cdot 16 \cdot 0.33 \cdot 0.1 m^2} = 6.0 m$$

Öljy pääsee leviämään massamaisena pohjaveden päällä ja liukenemaan pohjaveteen.

Toinen kokemuseräinen kaava, jonka avulla voidaan maksimitunkeuma laskea, on:

$$D = \frac{1000 V}{A \cdot R \cdot k} \quad (2)$$

D = suurin tunkeuma, m

V = maahan imeytynyt öljymäärä, m^3

A = imeytymispinta-ala maan pinnalla, m^2

R = maan pidätyskyky, l/m^3

k = likimääräinen korjauskerroin eri viskoosisille öljytuotteille

k = 0,5 alhaisen viskositeetin öljytuotteille, kuten bensinille

k = 1,0 petroolille, kaasuoöljylle ja tuotteille, joilla on samansuuruinen viskositeetti

k = 2 viskoosisimmille öljyille, kuten kevyelle polttoöljylle

k = arvo kasvaa aina äärettömyyteen saakka öljyille, joiden viskositeetti on suurempi kuin kevyen polttoöljyn.

Edellisessä kaavassa käytettäviä maanpidätyskyvyn arvoja yleisimmin kysymykseen tuleville maalajeille on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7 Eri maalajien pidätyskyvyn arvoja

Maalaji	R l/m ³
Kivet, karkea sora	5
Sora, karkea hiekka	8
Karkea hiekka, keskihiekka	
hieno hiekka	15
Keskihiekka, hieno hiekka	25
Hieno hiekka, siltti	40

Esimerkki: Öljyyahinko, jossa 1 m³ dieselöljyä imeytyy maahan 10 m²:n alueelta. Massamaisen tunkeutumisen suurimmaksi syvyydeksi saadaan kaavalla 2 20 m maaperässä, joka muodostuu kivistä ja karkeasta hiekasta. Mikäli kysymyksessä olisi karkea tai keskihiekka, tunkeutuma olisi 6,7 m ja mikäli kysymyksessä olisi hieno hiekka tai siltti, tunkeutuma olisi vain 2,5 m.

Taulukossa 7 annetut R:n arvot ovat likiarvoja, koska todellinen pidätyskyky vaihtelee mm. huokoisuuden ja vesipitoisuuden mukaan. Pidätyskyky riippuu myös ajasta.

Maaperässä öljy leviää yleensä vaakasuorassa pohjavesivyöhykkeen yläpuolisessa kapillaarivyöhykkeessä, jossa sitä koko ajan pidättyy maaperän pidätyskyvyn säätelemä määrä. Öljy virtaa rajallisen matkan kapillaarivyöhykkeessä muodostaen siihen jäämän, josta se etenee ainoastaan liukenemalla tai biologisesti muuttamalla. Summittaisen käsityksen massamaisena tapahtuvan öljyn vaakasuoran leviämisen suuruudesta antaa kaava 3:

$$S = \frac{1000 V - (A \cdot R \cdot d \cdot k)}{F} \quad (3)$$

S = suurin kapillaarivyöhykkeessä tapahtuva öljyn

massamainen vaakasuora leviämä neli metreinä

d = etäisyys maan pinnasta pohjaveden pintaan metreinä

F = kapillaarivyöhykkeessä olevan öljyn määrä l/m²

Muut merkinnät ovat samat kuin edellisessä kaavassa

Taulukko 8 Esimerkkejä R:n ja F:n arvoista

Maalaji	R $1/m^3$	F $1/m^2$
Kivet, karkea sora	5	5
Sora, karkea hiekka	8	8
Karkea hiekka, keskihiekka	12	12
Keskihiekka, hieno hiekka	25	20
Hieno hiekka, siltti	40	40

Useiden tutkijoiden suorittamat kokeet ovat osoittaneet, että öljyn tunkeutuminen pohjavedenpinnan alapuolelle lakkaa suhteellisen pian lähteestä tapahtuvan suotautumisen päätyttyä öljypatsaan hydrostaattisen painekorkeuden vähenemisen myötä. Pohjavedenpinnan alapuolelle tunkeutuneesta öljystä osa kohoaa ajan mittaan nosteen vaikutuksesta takaisin kapillaarialueeseen.

Laskettaessa tai arvioitaessa öljysaasteen vaakasuoran leviämisen suuruutta voidaan leviävän öljyn määränä likimäärin käyttää maaperään joutunutta öljymäärää vähentämällä siitä pohjavedenpinnan yläpuoliseen suotautumisalueeseen pidättynyt öljymäärä. Yksinker-
taistamalla edelleen voidaan arvioida öljyä pidättyvän kuivaan maakerrokseen noin 10 % huokostilavuuden suuruudesta. Kun maakerroksen vesipitoisuus kasvaa, vähenee pidättyvän öljyn määrä nopeasti alle puoleen kuivaan maakerrokseen pidättyvän öljyn määrään verrattuna.

Öljyn lopullista leviämistä tarkkaan laskettaessa onkin otettava huomioon jo paikalleen pysähtyneen öljymassan hidas ja osittainen liukeneminen pohjaveen mm. sadevesien huuhtovan vaikutuksen seurauksena.

Pohjaveteen liukenevan öljyn määrä on suuresti riippuvainen öljyn ja pohjaveden kontaktipinnan suuruudesta. Liukeneminen pohjaveteen voi tapahtua ainoastaan kontaktipinnan kautta. Koska on huomattu, että pohjavesialueessa levinnyt öljy on suurelta osaltaan pohjavedenpinnan yläpuolella olevassa kapillaarivyöhykkeessä, on kontaktipinta vain leviävän alapinta tai siitäkin vain se osa, joka ulottuu vapaaseen pohjavedenpintaan tai sen alapuolelle. Toisaalta pohjavedenpinnan korkeuden muutokset saattavat aiheuttaa kontaktipinnan muuttumisen. Lisäksi on huomattava, että huokospinta on pienempi kuin kokonaiskontaktipinta. Edellä esitetyllä on merkitystä lähinnä leviävän nopeutta ja kestoa arvioitaessa. Kontaktipinta syntyy myös, kun uutta vettä suotautuu maaperän läpi pohjavedeksi.

Veteen liuennut öljy voi kulkeutua pohjaveden mukana pitkän matkan öljypitoisuuden jatkuvasti pienentyessä laimentumisen seurauksena. Vaikutusalueen suuruus riippuu lähinnä liukenevan öljyn määrästä ja laimene-misolosuhteista sekä maaperän vedenläpäisevyydestä.

Pohjaveden virtausnopeuden määräävät maaperän laatu ja virtaustason kaltevuus. Pohjaveden virtausnopeutta käsiteltäessä on erotettava toisistaan nestepartikkelin etenemisnopeus, vesimassan todellinen nopeus ja näennäisnopeus, jota kutsutaan myös virtaamanopeudeksi. Nestepartikkelin nopeudet ovat mikroskooppisia ja paikallisia, joten niillä ei käytännön tehtävien kannalta ole merkitystä. Todellista vesimassan virtausnopeutta edustaa keskimääräinen tehokas virtausnopeus, joka ilmaisee nestemassan eli vesimassan siirtymisnopeutta väliaineen huokosissa. Tämä on se nopeus, joka vaikuttaa myös mahdollisten saasteiden ja lika-aineiden liikkumiseen maassa. Näennäinen virtausnopeus eli virtaamanopeus ei ota huomioon väliaineen massaa ja siten aiheuttaa tulkintaan liian pienet nopeudet.

Pohjaveden näennäinen virtausnopeus (v) maaperässä saadaan Darcyn-kaavasta.

$$v = K \cdot i, \quad (4)$$

jossa

v = näennäinen virtausnopeus (m/s)
 K = vedenläpäisevyysskerroin (m/s)
 i = kaltevuus (suhdelukuna)

Erilaiset muodostumat läpäisevät vettä hyvin erilaisia määriä. Vedenläpäisevyyškertoimella tarkoitetaan yleensä maalajin kykyä mahdollistaa veden liikkuminen painovoiman, kapillaarisuuden ja muiden voimien vaikutuksesta. Muodostumassa voi olla erilaisia maalajeja.

Veden virtausnopeus eräissä maalajeissa voidaan laskea seuraavia vedenläpäisevyyškertoimia käyttäen, kun pohjavedenpinnan kaltevuus eli vietto tunnetaan:

Taulukko 9 Vedenläpäisevyyškertoimia eri maalajeissa

Maalaji	K-arvo	Merkitys
Sora	$10^{-1} - 10^{-2}$ m/s	hyvin läpäisevä
Hiekka	$10^{-2} - 10^{-6}$ m/s	kohtalaisesti läpäisevä
Karkea siltti	$10^{-4} - 10^{-8}$ m/s	hieman läpäisevä
Hieno siltti	$10^{-6} - 10^{-10}$ m/s	huonosti läpäisevä
Savi	$10^{-10} - 10^{-12}$ m/s	käytännöllisesti katsoen läpäisemätön
Moreeni	$10^{-4} - 10^{-12}$ m/s	huono, vaihteleva läpäisevyys

4.3

Vaikutusetäisyyden arvioiminen käytännössä

Kun tunnetaan imeytynyt ainemäärä q , pohjaveden näennäinen virtausnopeus v ja laimenemiskertoimesta D ja virtausnopeudesta riippuva tekijä B , on mahdollista laskea alue, jolla veteen liuenneen öljyn pitoisuus on korkeintaan C ($\text{mg/l} = \text{g/m}^3$):

$$X_i = \frac{q \cdot B}{2 \cdot \pi \cdot v \cdot C_i} \quad (5)$$

X = max etäisyys (m), jossa on pitoisuus C_i (mg/l)

q = imeytynyt ainemäärä aikayksikössä tai asiayhteydestä riippuen öljyyntymästä pohjaveteen liukeneva ainemäärä aikayksikössä

B = lasketaan kaavalla 6

v = pohjaveden näennäinen virtausnopeus, m/d

D = laimenemiskerroin, m/d (kokemusperäinen)

$$B = \frac{v}{2 D} \quad (6)$$

Kaava 5 voidaan yksinkertaistaa muotoon:

$$X_i = \frac{M}{v \cdot C_i} = \frac{L}{C_i} \quad (7), \text{ joissa}$$

(8)

$$M = \frac{q \cdot B}{2 \cdot \pi}$$

$$L = \frac{q \cdot B}{2 \cdot \pi \cdot v} \quad (9)$$

Laskuesimerkki:

Pohjavesivyyöhykkeeseen päässeestä massiivisesta öljystä liukenee pohjaveteen öljyä 1 l/d. Pohjaveden näennäisvirtausnopeus on 10 m/d . C = sallittu pitoisuus on 0,1 mg/l . D = 100 m/d . (D :n arvo riippuu maalajista ja virtausnopeudesta.)

$$X_i = \frac{1 \cdot 5 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 3.14 \cdot 10 \cdot 10^{-7}} = 7.9 \cdot 10^3 = 7960 \text{ m}$$

Sallittu pitoisuus saavutetaan 8 km:n laimenemismatkan päässä.

Kaava antaa virtauksensuuntaiselle pitoisuusetäisyydelle huomattavan suuria arvoja. Vaikutusalueen laajuus on todellisuudessa yleensä pienempi. Tämä johtuu pääasiassa siitä, että oletttamus tuotosta q = vakio ei pidä paikkaansa, vaan tuotto pienenee vähitellen ja loppuu yleensä kokonaan. Tuottoon vaikuttaa myös se, että massamaisena liikkuva öljyyleviämä saavuttaa lopullisen muotonsa vasta pitkän ajan kuluttua. Lisäksi pohjavedenpinnan vaihtelut ja vajovesi aiheuttavat tuotossa vaihteluita.

Vaikutusetäisyyden arviointi vahinkotapauksessa voidaan tehdä siten, että maahan asennetaan pohjavesiputki öljyesiintymän alapuolelle pohjaveden virtausuuntaan etäisyydelle, jossa oletttamus lähteen piste-mäisyydestä on karkeasti ottaen voimassa (esim. 50 m). Tarkkailemalla öljypitoisuutta havaintopisteessä voidaan paikallinen maksimi C arvioida. Sen avulla saadaan edellisestä kaavasta määrätyn (kun putken etäisyys öljyyntymästä tunnetaan) joko vakio M (jos v tunnetaan) tai vakio L . Tällöin voidaan laskea se teoreettisesti mahdollinen etäisyys, jolla enintään jokin pitoisuus C voi esiintyä. Tämän jälkeen voidaan myös sivusuuntaista pitoisuuden jakaantumista arvioida, kun B :lle annetaan jokin arvo.

4.4

Pohjaveden laatu ja puhdistuskyky

Pohjaveden laatu on usein pintavettä parempi ja myös sen laadun ja lämpötilan vaihtelut eri vuodenaikoina ovat verraten vähäisiä. Pohjaveden lämpötila vaihtelee maassamme yleisesti välillä $1,5 - 7,0^{\circ}\text{C}$. Lapissa pohjavesien keskimääräinen lämpötila on $1,5 - 3^{\circ}\text{C}$ ja Etelä-Suomessa $5 - 7^{\circ}\text{C}$. Pohjaveden virtaus ja etäisyys maanpinnasta saattavat aiheuttaa useiden asteiden paikallisia lämpötilaeroja saman akviferin eli vettä johtavan muodostuman eri kerroksissa.

Pohjavesi on Suomessa yleensä hieman hapanta ja vähän liuenneita suoloja sisältävää sekä pehmeää. Yleisimmät liuenneet aineet pohjavedessä ovat kalsium, magnesium, natrium, kalium, sulfaatti, nitraatti, kloridi, rauta, mangaani ja humushapot. Tutkimukset osoittavat, että muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta kalliovedet sisältävät liuenneita aineita enemmän kuin muut pohjavedet. Vapaan hiilidioksidin ja raudan pitoisuudet ovat maaperässä selvästi pienemmät kuin kalliovesissä. Liuenneiden aineiden kokonaismäärään pohjavedessä vaikuttaa aika, jonka vesi on maaperässä viipynyt. Tämä selittää kalliovesien yleisesti suuremman mineraalipitoisuuden.

Pohjavedessä ei yleensä ole patogeenisia bakteereja, joten desinfiointia veden käyttöön otossa ei yleensä tarvita. Pohjavesi ei ole myöskään yhtä altis likaantumiselle kuin pintavesi ja suojaamistoimenpiteet voidaan rajoittaa pienemmälle alueelle kuin vesistöissä. Toisaalta likaantumaan päässeän pohjaveden puhdistaminen saattaa olla erittäin kallista.

Pohjavesien puhdistumiskyvyllä tarkoitetaan maaperän ja kallioperän kykyä vähäisessä määrin puhdistaa pohjavesi siihen liuenneista tai siihen sekoittuneista lika-aineista. On tärkeää tietää, että tämä puhdistuskyky on rajallinen ja vaihtelee huomattavasti eri aineiden suhteen. Voidaan sanoa jokaisella aineella olevan maaperässä myrkyttymisrajan. Tällä tarkoitetaan sitä pitoisuutta, jota suurempaa määrää maaperä ei pysty poistamaan pohjavedestä rajoitetussa ajassa ja tilassa. Puhdistuskyky siis riippuu virtausmatkasta ja -ajasta sekä siitä geologisesta ympäristöstä, maalajeista, jopa mineraalikoostumuksesta, jossa prosessi tapahtuu.

Asfalttiasemalta maaperään pääsevien aineiden kannalta on merkittävintä maaperän itsepuhdistuskyky öljytuotteista. Maaperässä on noin 100 erilaista mikro-organismia, jotka pystyvät hajottamaan öljytuotteissa olevia hiilivetyjä. Hajoaminen tapahtunee pääasiassa aerobisesti ts. happea sisältävissä olosuhteissa. Hajoaminen tapahtuu yleensä nopeimmin maaperän ylemmissä, runsaasti hapetta ja bakteereita sisältävissä kerroksissa. Hajoaminen on kuitenkin sangen hidasta, kestäen vuosia tai jopa vuosikymmeniä.

Jotkut öljytuotteet hartsaantuvat maaperässä ajan kuluessa ja tulevat siten veteen liukenemattomiksi ja vaarattomiksi yhdisteiksi.

5. KENTTÄKOKEET

5.1 Suojatoimien tehokkuus

Huolellisesti tehtyjen suojatoimenpiteiden (sijoitettu pohjavesialueen ulkopuolelle, varustettu suoja-aitain ja -katoksin) vaikutuksen tarkkailemiseksi haettiin eräältä noin 2 vuotta toimineelta asfalttiasemalta vesinäytteet kolmesta pohjaveden pysyvistä havaintoputkesta, jotka oli asennettu maahan aseman perustamisen yhteydessä. Geologisesti asfalttiasema sijaitsee moreenirinteessä, jonka kaltevuus oli noin 3 %. Etäisyys maanpinnasta kalliopohjaan oli yli 10 m. Asfalttiaseman alueella oli myös kaivo. Havaintoputket sijaitsivat siten, että aivan sekoittimen vieressä oli havaintoputki 1, pohjaveden virtausuunnassa asfalttiaseman alakulmassa havaintoputki 2 ja kuljetusväylän varressa havaintoputki 3.

Havaintoputket olivat muovirakenteisia sekä varustettu suoja-putkella ja hatulla.

Vesinäytteet otettiin ja havainnot tehtiin elokuussa 1979. Näytteet otettiin noutimella näytteen saamiseksi pohjaveden pintakerroksesta, jossa on suurin todennäköisyys tavata öljyä, mikäli sitä veteen on joutunut. Aistinvaraiset havainnot osoittivat seuraavaa: Alueella olevasta kaivosta otetussa vesinäytteessä ei todettu öljyn hajua eikä makua. Havaintoputkessa, joka sijaitsee aivan sekoittimen vieressä havaittiin aivan vähäinen öljyn haju, vettä ei maistettu, mutta näytteen pinnalla vaikutti olevan pieni öljykalvo. Muista näytteistä ei todettu öljyn makua tai hajua. Putkesta 3 ei saatu näytettä maaperän huonon läpäisevyyden takia.

Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen tutkimusselostuksen mukaan tutkittujen vesinäytteiden hiilivetypitoisuudet IR-spektrofotometrisesti määritettyinä olivat seuraavat:

Taulukko 10 Vesinäytteiden hiilivetypitoisuudet eri tutkimuspisteissä

Putki 1	Putki 2	Kaivo
0,1 mg/kg	0,0 mg/kg	0,0 mg/kg

Öljyä voitaneen todeta päässeen vähäisessä määrin maaperään sekoittimen vieressä. Sen ei voitu todeta levinneen pohjaveden virtausuunnassa eikä myöskään sitä vastaan kohtisuorassa 50 m matkaa. Maahan pääsyt öljy on siten joko sitoutunut tai sen leviäminen on ollut niin hidasta, ettei se ole vielä ehtinyt toiseen havaintoputkeen saakka. Edellinen vaihtoehto vaikuttaa todennäköisemmältä havaitun pitoisuuden pienuuden takia.

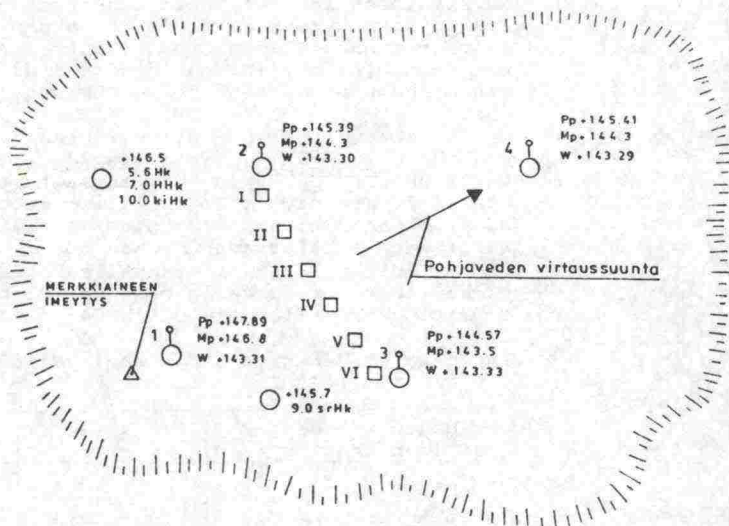
5.2

Öljyn pidätyminen ja leviäminen

Öljyn maahan pidätyksen ja maassa tapahtuvan leviämisen ja laimentumisen selvittämiseksi tehtiin syys-marraskuussa 1979 koe, jossa vanhaan sorakuoppaan kaadettiin 200 l kevyen polttoöljyn käyttäytymistä jäljittelevää merkkiainetta. Merkkiaineen käyttäytymistä seurattiin näytteenotoin havaintoputkiverkosta ja havaintokuopista. Lähin havaintoputki sijaitsi noin 7 m etäisyydellä imeytyspaikasta. Etäisyys maan pinnalta pohjaveden pintaan oli noin 5 m. Seuraavat putket sijaitsivat noin 30 m etäisyydellä siten, että kahden toisistaan noin 40 m etäisyydellä sijainneen havaintoputken väliselle linjalle oli kaivettu 6 koekuoppaa, jotka ulottuivat noin 10 cm pohjaveden pinnan alapuolelle.

Linja oli kohtisuorassa pohjaveden virtaussuuntaan nähden ja mikäli virtaus etenee suoraviivaisesti imeytyspaikalta, havaintoputket sijaitsevat tähän linjaan nähden yhtä kaukana. Takimmainen havaintoputki sijaittisi noin 50 m etäisyydellä tästä poikittaislinjasta.

Kuva 2 Asemapiirros merkkiaineen imeytyskokeen järjestelyistä (ei mittakaavassa)



Merkinnät:

- = pohjaveden havaintoputki P_p = putken päään korkeus
 ○ = kairauspiste M_p = maanpinnan korkeus
 □ = koekuoppa W = vesipinnan korkeus

Kahden kuukauden kuluttua tehtyjen havaintojen mukaan ei merkkiaine ollut päässyt vielä leviämään lähimpään havaintoputkeen saakka.

Merkkiaineen pidättymisen havaitsemiseksi otettiin kaivamalla maanäytteet imeytyspaikalta 1,0 m ja 1,5 m syvyydestä. Niistä tutkittiin näytteet ja kuumentamalla niitä uunissa, kunnes merkkiaine haihtui. Tämän jälkeen ne punnittiin uudestaan. Huokostilavuudeksi oletettiin 35 %. Kuivatilavuuspaino näytteiden kohdalta (häiriintymätön) on 1,65 kg/dm³ (arvioitu).

Laskemalla painon väheneminen ja muuntamalla se tilavuus-%ksi saatiin pidätymisprosentiksi ylempässä näytteessä 9 % huokostilavuudesta ja alemmassa näytteessä 8 %. Öljyyntymän keskimääräinen pinta-ala oli 2 m². Maksimitunkeutumisvyvydeksi saadaan edellä esitetyllä kaavalla (1):

$$Z_{\max} = \frac{0.2}{2 \cdot 0.35 \cdot 0.08} = 3.6 \text{ m}$$

Merkkiaineen katsottiinkin lähes kokonaisuudessaan aluksi pidätyneen pohjavesikerroksen yläpuolella olevaan maahan. Sadevesien aiheuttaman huuhtelun ja pohjavesipinnan vaihtelun johdosta odotettiin kuitenkin myöhemmin vähäistä tunkeutumisen kasvua.

Merkkiaineen tunniste- eli väriosasta, Rhodamin B:stä saatiin kuitenkin jonkinlaisia leviämishavaintoja sen vesiliukoisuuden takia. Havaintoputkista 1-4 yhteensä otetut 26 vesinäytettä tutkittiin laboratoriossa määrittämällä niiden rautapitoisuus (Fe), kemiallisesti happea kuluttavan orgaanisen aineksen pitoisuus (KMnO₄-kulutus) sekä mittaamalla Rhodamin B:n sisältämän⁴ fluoroisoivan väriaineen absorbanssi spektrofotometrisesti aallonpituudella 546 µm.

Taulukko 11 Vesinäytteiden analyysitulokset putkista 1-4

Vuoden -79 näyt- teiden ikä vrk	2	3	8	11
Putki 1				
Fe mg/l	0,00	0,00	0,00	0,00
KMnO ₄ -kulutus mg/l	5,9	4,5	5,2	4,8
Absorbanssi 546 µm	0,017	0,012	0,005	0,006
Putki 2				
Fe mg/l	-	-	0,29	0,00
KMnO ₄ -kulutus mg/l	-	-	5,3	6,1
Abs. 546 µm	-	-	0,024	0,017
Putki 3				
Fe mg/l	-	-	0,37	0,30
KMnO ₄ -kulutus mg/l	-	-	5,4	6,2
Abs. 546 µm	-	-	0,019	0,029
Putki 4				
Fe mg/l	-	-	0,00	0,00
KMnO ₄ -kulutus mg/l	-	-	4,3	5,0
Abs. 546 µm	-	-	0,001	0,004

Vuoden -79 näyt- teiden ikä vrk	16	27	34	54
Putki 1				
Fe mg/l	0,00	0,30	0,00	0,10
KMnO ₄ -kulutus mg/l	4,1	6,1	3,5	5,2
Absorbanssi 546 µm	0,006	0,007	0,010	0,020
Putki 2				
Fe mg/l	0,20	0,10	0,20	0,10
KMnO ₄ -kulutus mg/l	5,2	5,4	4,8	5,3
Abs. 546 µm	0,018	0,010	0,016	0,022
Putki 3				
Fe mg/l	0,00	0,10	0,00	0,10
KMnO ₄ -kulutus mg/l	3,6	3,2	4,7	4,3
Abs. 546 µm	0,004	0,009	0,010	0,022
Putki 4				
Fe mg/l	0,11	0,00	0,10	0,00
KMnO ₄ -kulutus mg/l	3,2	3,2	3,4	5,7
Abs. 546 µm	0,007	0,007	0,014	0,024

Seuranta jatkettiin vuosina 1980, 1981 ja 1982. Elokuussa 1980 otettiin imeytyspaikalta maanäytteitä yhdeksän kappaletta. Lisäksi otettiin havaintoputkista vesinäytteet. Vuonna 1981 otettiin vesinäytteet kaikista havaintoputkista ja viidestä havaintokuopasta, jotka sijaitsivat havaintoputkien 1 ja 2 välissä sekä pohjavesilammesta, joka sijaitsi havaintoputki 4:stä alavirran suuntaan 90 m etäisyydellä. Lisäksi otettiin vesinäytteet pohjaveden purkautumiskohdasta, joka oli noin 130 m etäisyydellä havaintopiste 4:stä. Tämän jälkeen otettiin ojavesinäytteitä siten, että ensimmäinen niistä sijaitsi 250 m etäisyydellä havaintoputki 4:stä, toinen noin 290 m etäisyydellä ja kolmas noin 440 m etäisyydellä. Viimeinen näyte otettiin puron suulta, jossa oja yhtyy vesistöön. Vuonna 1982 otettiin ojavesinäytteet 250, 290 ja 440 metrin päästä putki 4:stä ja 70 metrin päästä lahden rannasta sekä lahden suulta 1 m:n päästä rannasta.

Maanäytteistä määritettiin maalajit. Lisäksi analysoitiin petrolieetteriin uuttuvien aineiden pitoisuus gravimetrisesti. Saatu tulos kuvaa öljyn käyttäytymistä matkivan runkoaineen pitoisuutta.

Taulukko 12 Maanäytteiden analyysitulokset v. 1980

Näytteet 1980	Syvyys	Maalaji	Kosteus-%	Merkkiaine- pitoisuus
1	+148,00	srHk	3,4	0,56 g/kg
2	+147,50	srHk	4,0	0,013 "
3	+147,00	hkSr	2,2	0,96 "
4	+146,50	hkSr	2,6	0,54 "
5	+146,00	srHk	2,5	0,95 "
6	+145,50	srHk	4,1	0,64 "
7	+145,00	hkSr	1,8	0,12 "
8	+144,50	srHk	4,7	0,99 "
9	+144,00	srHk	4,3	0,90 "

Maanpinnan korkeus on imeytyspaikalla +148,80; pohjavesi oli syvyydellä +142,92.

Kun maanäytteen huokostilavuus on 35 % ja tilavuuspaino 1,65, saadaan merkkiainepitoisuudeksi huokostilavuudesta:

Taulukko 13 Merkkiainepitoisuus (o/oo) maanäytteissä v. 1980

Näytteet 1980	Merkkiaine- pitoisuus o/oo	Näyte	Merkkiaine- pitoisuus o/oo
1	2,64	6	3,02
2	0,06	7	0,06
3	4,53	8	4,67
4	2,55	9	
5	4,48		

24.7.1980 otettujen vesinäytteiden analyysitulokset olivat

Taulukko 14 Vesinäytteiden analyysitulokset v. 1980

Putken nro	1	2	3	4
Absorbanssi 564 μm	0	0,014	0,027	0,001
KMnO ₄ -kulutus mg/l	10,6	150	66,7	9,8
Fe mg/l	2,9	73,0	70,1	12,5
Hiilivetytyypit. mg/l	0,1	0,0	0,0	0,1

Edellämainituista maanäytteistä tehtiin runkoaineen tarkistusmittaukset märkäuuttamalla hiilitetrakloridilla ja määrittämällä uuttuvien aineiden kokonaispitoisuus IR-spektrofotometrisesti.

Tulokset on esitetty promilleina huokostilavuudesta.

Taulukko 15 Merkkiaineepitoisuus (o/oo) vesinäytteissä v. 1980

Näytteet 1980	Merkkiaine-pitoisuus	Näyte	Merkkiaine-pitoisuus
1	13,8	6	14,3
2	10,4	7	0,09
3	0,008	8	14,4
4	6,4	9	
5	12,6		

Tätä SFS 3010 mukaista menetelmää on pidettävä luotettavampana kuin petrolieetteriuuttoon perustuvaa menetelmää.

17.6.1981 otetut vesinäytteet analysoitiin edelleen SFS 3010 standardin mukaisesti. Niistä saatiin seuraavat analyysitulokset.

Taulukko 16 Merkkiaineepitoisuus (mg/l) vesinäytteissä v. 1981

Näytteet 1981	Merkkiaine-pitoisuus mg/l
Putki 1	0,21
Putki 2	0,11
Putki 3	0,20
Putki 4	0,16
Koekuopat I ja II	0,16
Koekuoppa III	0,07
Koekuoppa IV	0,08
Koekuoppa V	0,09
Pohjavesilampi 4:stä alavirtaan 90 m	0,14
Lähde 1130 m Putki 4:stä	0,08
Oja 250 m Putki 4:stä	0,16

Seuraavat näytteet otettiin 19.8.1981 saman ojan jatkojuoksulta. Tulokset osoittavat merkkiaineen runko-osan pitoisuuksia. Merkkiaineen Rhodamin-B pitoisuutta ei tarkistettu.

Taulukko 17 Merkkiaineepitoisuus (mg/l) vesinäytteissä v. 1981

Näytteet 1981	Merkkiaine-pitoisuus mg/l
Oja 250 m putki 4:stä	0,36
Oja 290 m putki 4:stä	0,04
Oja 440 m putki 4:stä	0,06
Ojan ja lammen liittymäkohta	3,04

Ensimmäinen näyte on samasta paikasta kuin runsas vuosi aikaisemmin otetun vesinäytesarjan viimeinen näyte. Tällä menettelyllä haluttiin vertailutietoa.

Taulukko 18 Merkkiaineepitoisuus (mg/l) vesinäytteissä
v. 1982

Näytteet 1982	Merkkiaine- pitoisuus mg/l
Oja 250 m putki 4:stä	0,08
Oja 290 m putki 4:stä	<0,05
Oja 440 m putki 4:stä	0,11
Oja 70 m lahden rannasta	<0,05
Lahden suulta, 1 m rannasta	<0,05

Merkkiaineepitoisuus imeytysalueen maaperässä oli laskenut vuoden kuluessa huomattavasti. Tämän mukaan on ajan myötä tapahtuva sade- ja sulamisvesien huuhtova vaikutus merkkiaineen jäännöspitoisuuteen merkittävä hiekka- ja soramaissa. Kirjallisuudessa esitetyt öljyn jäännöspitoisuudet, sora 2-3 % ja hiekka 3-4 % huokostilavuudesta, on saatujen tulosten mukaan syytä ymmärtää lyhyen ajan arvoina. Vaikka merkkiaine pidäytyikin aluksi tehokkaasti maahan, jo vuoden kuluttua oli sen pitoisuus maaperässä laskenut alle kymmenenteen osaan.

Maaperän rakeisuuden vaikutus öljyn pidäytymiseen selittää osaksi merkkiaineepitoisuuden vaihtelun pysyvuunnassa.

Imeytyskokeen alussa merkkiaineen leviäminen oli erittäin hidasta. Voidaan katsoa, että vuonna 1979 tehdyn yli kuukauden pituisen havaintojakson aikana pohjavedestä ei saatu varmaa havaintoa hiilivetytipitoisuudesta. Sen sijaan vuonna 1980 tehdyn havaintosarjan yhteydessä todettiin hiilivetyjä imeytyspaikan välittömässä läheisyydessä sekä 80 m:n etäisyydellä. Tässä vaiheessa ei saatu havaintoa öljymäisen aineen pohjaveden virtaukseen nähden poikittaisuuntaisesta leviämisestä. Merkittävää on tässä vaiheessa havaitun pitoisuuden samansuuruisuus lähellä imeytyspaikkaa ja kauempana olevassa putkessa. Vaikuttaa siltä, että liukeneminen pohjaveteen oli tuolloin juuri alkanut.

Vuoden 1981 havainnoissa oli merkillepantavaa se, että merkkiaineen runko-osan pitoisuus imeytysalueen välittömässä läheisyydessä oli edelleen 0,21 mg/l.

Tämän jälkeen pitoisuus aleni purkautumispaikalle mentäessä niin, että imeytysalueelta noin 240 m:n päässä sijaitsevassa lähteessä se oli 0,08 mg/l. Purkautumisuomassa pitoisuus vaihteli siten, että se oli suurin ojan alkupäässä ja mikä kummallista, ojan ja lammen liittymäkohdassa.

Ojan suulta havaittu 3.04 mg/l merkkiainepitoisuus aiheutunee muista lähteistä, esimerkiksi levien hajomistuotteista.

Vuoden 1982 näytteissä suurin pitoisuus oli havaittavissa 440 metrin päässä putki 4:stä. 250 metrin päässä em. putkesta pitoisuus oli 0,08 mg/l ja muissa pisteissä alle määrittysrajan 0,05 mg/l.

Edellä olevasta voidaan päätellä polttoöljymäisen merkkiaineen runko-osan edenneen huomattavasti pohjaveden todellista virtausnopeutta hitaammin. Havainto on rinnastettavissa eri öljy-fraktioiden virtausnopeudesta kirjallisuudesta saataviin tuloksiin. Niiden mukaan bensiini ja muut kevyet jakeet virtaavat maaperässä huomattavasti pohjaveden virtausnopeutta suuremmalla nopeudella. Polttoöljy 1 ja sitä raskaamat jakeet puolestaan virtaavat maaperässä huomattavasti pohjaveden virtausta hitaammalla nopeudella.

Edelleen voidaan havainnoista todeta, että maaperän eliötoiminta ei ole päässyt tuhoamaan merkkiaineen runko-osaa. Havainto on rinnastettavissa öljyn käyttäytymisestä tiedettävään häviämismekanismiin, jonka mukaan mikrobitoiminta pystyy tuhoamaan öljypitoisuutta maaperästä ja pohjavedestä sen pitoisuuden ollessa alle 0,01 mg/l. Tämä merkitsee sitä, että öljyvahingon tapahtuessa aineen tuhoutuminen alkaa vasta kun laimeneminen on edistynyt huomattavan pitkälle.

Havainnoista voidaan edelleen päätellä, että öljyyntymän ikääntyessä siitä tapahtuva öljyn irtoaminen vähenee ajan kuluessa. Tällöin pitoisuuden arvot jäävät pienemmiksi, sen sijaan öljyyntymän laajeneminen voi jatkua hyvin pitkään.

6. SUOJAETÄISYYDET JA -TOIMENPITEET

6.1 Aseman sijoittaminen ja suojaetäisyydet

Vesiensuojelusyistä on tärkeää, ettei asfalttiasemaa sijoiteta pohjavedenottamon vahvistetulle lähisuojavaiketykselle eikä jo käyttöön otetulle vesihallituksen julkaisussa "Yhdyskuntien vedenhankinnalle tärkeät pohjavesialueet", 1976 tiedotus 109 luetelluille alueille.

TVH:n ohjeen "Asfalttiaseman ympäristösuojelu 1982" (TVH 732794) mukaan on pohjavesi- ja maaperätutkimuksien osoitettava, ettei haitallista pohjaveden pilaantumista pääse tapahtumaan öljyvahingotapauksessakaan, mikäli asema joudutaan sijoittamaan pohjavedenottamon kaukosuojavaiketykselle tai muutoin vesihuollon suhteen arveluttavalle paikalle.

Selvityksessä käytetään edellä esitettyjä kaavoja. Tarvittaessa voidaan tehdä merkkiainetutkimus.

Maaperätutkimuksilla tulee selvittää asfalttiasema-alueen ja sen ympäristön maaperän rakenne, huokoisuus, raekoostumus, humuspitoisuus, tilavuuspaino ja vesipitoisuus. Näissä tarkoituksissa tehdään paino- ja lyöntikairauksia sekä otetaan näytteitä pohjavedenpinnan yläpuolisesta kerrostumasta joko jatkuvana noudinta käyttäen tai koekuopasta.

Pohjavesitutkimuksilla selvitetään pohjavedenpinnan asema, sen vuosivaihtelut, virtaussuunta ja -nopeus, laskennallinen viipymä ennen purkautumista sekä pohjaveden laatu. Pohjavedenpinnan korkeuden havaitsemiseksi on syytä asentaa vähintään kolme havaintoputkea, joiden siiviläosa ulottuu 1 m pohjavedenpinnan yläpuolelta vettäjohtavien kerrosten pohjaan saakka. Asentamisen yhteydessä otetaan maanäytteitä 1 metrin välein koko pohjaveden alaiselta osuudelta. Havaintoputkista mitataan pohjavedenpinnan korkeus 1 cm tarkkuudella ja virtausnopeus 50 cm syvyyksivälein. Veden laatu selvitetään vesinäytteiden avulla.

Maaperä- ja pohjavesitutkimusten tulosten perusteella lasketaan pohjavedenpinnan yläpuoliseen kerrokseen pidättyvän öljyn määrä, mahdollinen suurin leviämä massamaisena pohjavesivyöhykkeessä, kun suurin kyseen tuleva öljymäärä imeytyy maahan, pohjaveteen liukeneva öljymäärä, liuennneen öljyn sekoittumissuhde ja leviämisen nopeus.

Tulosten avulla osoitetaan tehtävien suojatoimien olevan riittävät estämään öljyn pääsy pohjaveteen tai lasketaan öljypitoisuus etäisyyden funktiona ja osoitetaan sen jäävän pohjavedessä alle sallitun pitoisuuden kriittisissä paikoissa.

Aseman paikasta tulee tehdä ilmoitus vesipiirin vesitoimistolle. Ilmoitukseen tulee liittää asema-alueen kartta 1:20000, tiedossa olevat maalaji- ja pohjavesiolosuhteet alueella (myös mahdollinen selvitys tutkimustuloksineen) ja sen lähiympäristössä sekä töiden suunniteltu aloittamis- ja kesto-aika. Ilmoitus tulee tehdä vesipiirille mahdollisimman varhain. Vesipiirin määräämiä vesiensuojelutoimenpiteitä on noudatettava. Vesipiiri antaa lausuntonsa kuukauden kuluessa ja lähettää sen myös tiedoksi kunnan terveyslautakunnalle tässä ajassa.

Asfalttiaseman ympäristöhaittojen vähentämiseksi on TVH antanut myös ohjeita ja määräyksiä toimenpiteistä, joilla haitat voidaan joko välttää kokonaan tai rajoittaa mahdollisimman vähiin.

Öljyjen, bitumiliuosten, metyleenikloridin ja tartukkeiden sekä mahdollisten muiden haitallisten aineiden käsittelyssä on noudatettava huolellisuutta. Näiden aineiden pääsy pohja- tai pintaveteen tulee estää. Aineiden varastointisäiliöiden tulee olla mahdollisimman kaukana avovesistöistä.

Asemalla tulee olla tiivis ja riittävän tilava säiliö tai allas jäteöljyä, liuottimia yms. aineksia varten. Säiliön on oltava helposti kuljetettavissa paikalle, jossa aineet voidaan puhdistaa tai hävittää.

Ne koneaseman kohdat, joilla käsitellään pohjavesien kannalta haitallisia aineita, on suojattava riittävän vahvalla muovikelmulla tai muulla tiiviillä aineella. Kelmun päälle tulee levittää noin 20 cm hieta-, hiekka- tai sorakerros tms. suojakerros. Polttoöljyä sisältävät säiliöt tulee sijoittaa teräsaltaaseen. Altaan tilavuuden tulee olla niin suuri, että se yhdessä muiden suojelumenetelmien kanssa riittävän varmasti estää öljyn pääsyn pohjaveteen vahinkotapauksessa. Altaaseen päässeet ja siinä likaantuneet sadevedet tulee hävittää asianmukaisesti. Mikäli rakennetaan sadekattoinen allas, mitä pidetään suositeltavana, tulee katos rakentaa siten, että se estää sadevesien pääsyn altaaseen.

Asemalle on rakennettava tiivispohjainen paikka, johon väliaikaisesti voidaan koota se öljyä sisältävä maa, joka vahinkotapauksessa kiireesti joudutaan poistamaan öljyn leviämisen estämiseksi. Tarvittava säilytyspaikka voi olla esim. muovikelmulla ja hiekkalla tiivistetty maakuoppa. Kuoppaan kerätty maa on viimeistään aseman siirron yhteydessä suoritettavassa siivouksessa toimitettava kunnan öljynvahinkotorjunnan suunnitelmassa esitetyille paikalle tai muulle kunnan öljyntorjuntaviranomaisen hyväksymälle paikalle.

Polttoturvetta tai muuta öljyn imeyttämisainetta tulee käyttää öljyn talteenottamiseksi silloin, kun öljyä on vahingossa päässyt maahan. Imeytety turve hävitetään polttamalla.

Kaikista pohjaveden laatua uhkaavista vahingoista on ilmoitettava sen kunnan terveyslautakunnalle, jonka alueella asema sijaitsee ja välittömästi vahingon tapahduttua kunnan palokunnalle tai poliisille. Ilmoitus edellytetään tehtäväksi kunnan öljyvahinkotorjuntasuunnitelman mukaisella tavalla.

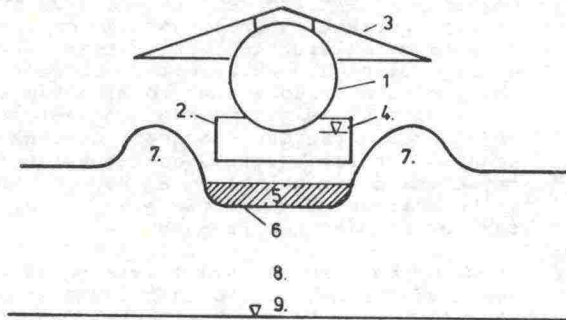
Tarvittavat puhelinnumerot yhteydenottoa varten on oltava asema-alueella nähtävissä.

6.3

Toimenpiteiden riittävyyden arviointi ja lähemmät selvitykset

Suojatoimenpiteiden riittävyyden arvioimisen lähtökohtana on pidettävä sitä suurinta öljymäärää, joka asemalla yhtäaikaan on varastossa. Toisaalta on pohjavedenottoamoiden turvaetäisyyden arviointiperusteena pidettävä juoma- ja talousvedessä sallittua suurinta pitoisuutta. Mineraaliöljyn suurimmaksi sallituksi pitoisuudeksi talousvedessä on annettu lääkintöhallituksen yleiskirjeessä 1701/16.4.1980 0,05 mg/l. Öljyssä olevien raskasmetallien ym. hivenaineiden pitoisuudet ovat niin pieniä, ettei öljyvahingontapauksissa ole odotettavissa näiden aineiden pitoisuuksien liiallista kohoamista pohjavedessä.

Kuva 3 Periaatepiirros öljyvahingon torjuntatoimenpiteistä



- | | |
|---------------------|--|
| 1. ÖLJYSÄILIÖ | 6. SUOJAKALVO TAI LÄPÄISEMÄTÖN MAAKERROS |
| 2. SUOJA-ALLAS | 7. PATO |
| 3. SADEKATOS | 8. SUOJAAVA MAAKERROS |
| 4. RAJAPINTAHÄLYTIN | 9. POHJAVEDEN PINTA |
| 5. IMEYTYSAINES | |

7. VAHINGON TORJUNTA

7.1 Yleiset periaatteet

Kaikista varotoimista huolimatta saattaa asfalttiasemalta päästä maahan jotakin pohjavedelle haitallista nestettä, tavallisesti öljyä. Tällöin tulevat kysymykseen torjuntatoimet, jotka voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään: lisävahingon estäminen, ensimmäiset torjuntatoimenpiteet ja varsinaiset torjuntatoimenpiteet.

Toimenpiteitä harkittaessa on aineen määrä ja laatu tärkeä. Pienissä vuodoissa voi menettely olla erilainen kuin suurissa vuodoissa.

7.2

Ensimmäiset toimenpiteet

Ensimmäiset torjuntatoimenpiteet ovat yleensä luonteeltaan hätätyötä. Nopealla toiminnalla voi estää varsinaisen vahingon syntymisen.

Alkutoimenpiteistä osan voi tehdä vahingon havaitsija. Varsinaisesti työ kuuluu vahingon aiheuttajalle. Periaatteena pidetään, että vahingon aiheuttaja täysimääräisesti korvaa torjuntatoimista aiheutuvat kulut. Seuraavassa lueteltavien toimenpiteiden toteuttaminen, laajuus ja toteuttamisjärjestys riippuvat tapauksesta, mutta harkinta asiassa voidaan tehdä oheisessa järjestyksessä.

1. Jos tapahtumapaikalla on ollut tai on tulipalo, jonka johdosta joku on loukkaantunut tai muutoin avun tarpeessa, siirretään loukkaantuneet turvaan ja annetaan ensiapu.
2. Tukahdutetaan palon alut ja pyritään estämään palon leviäminen, jos ei ole kysymys ensimmäisen luokan palavasta nesteestä, jollaisen syttymisen uhatessa on vaara-alueelta poistuttava välittömästi. Pyritään estämään sivullisten alueelle meneminen.
3. Ilmoitetaan palokunnalle tai poliisille vahingosta, jos tämä voi tapahtua muita välittömästi tehtäviä alkutoimenpiteitä haittaamatta ja pyydetään lähempiä toimintaohjeita. Järjestetään tarvittaessa opastus.
4. Pyritään tukkimaan vuoto avonaisten venttiilien, pudonneiden tyhjennysletkujen, kiilattavissa olevien reikien, pumppujen yms. sulkemisella, mikäli tämä voi tapahtua omaa turvallisuutta vaarantamatta.
5. Pysäytetään moottorit, estetään niiden käynnistäminen, katkaistaan sähköt, pyritään tuulettamaan viemärit ja muut suljetut tilat räjähdysvaaran estämiseksi.
6. Tehdään ensimmäiset toimenpiteet öljyn ympäristöön leviämisen estämiseksi.

7.3 Varsinaiset vahingontorjuntatoimenpiteet

Edellä esitettyjen tehtävien jälkeen ryhdytään varsinaisiin torjuntatoimiin. Niiden määrittämiseksi on aluksi tarpeen selvittää maahan päässeeseen likaavan aineen laatu ja määrä, tapahtuman ajankohta ja kesto sekä maaperä sekä jo tehtyjen suojatoimien merkitys. Mikäli öljyyntymä sijaitsee pohjavesialueella (pohjavedenottovyöhykkeellä, pohjavedenottomon suojavyöhykkeellä tai vastaavalla), on maaperän puhdistamiseen kiinnitettävä erityistä huomiota. Öljyyntymä on poistettava, mikäli mahdollista kaivamalla. Tämä on tehtävä välittömästi, mutta ei kuitenkaan ns. hätätyönä. Mikäli vuoto on vähäinen, saattaa torjuntatoimeksi riittää yksinkertainenkin menettely. Asemalla tulee olla paikka likaantuneen maa-aineksen tilapäiseen säilytykseen.

Maaperän ollessa vahinkopaikalla vettä läpäisevää, tulee öljyn virtaus ohjata, jos se on mahdollista, ojiin ja kuoppiin, joissa on vettä. Kuiviin ojiin tai öljynkeräytymispainanteisiin voidaan myös pumpata vettä, joka muodostaa öljyn alle imeytymistä estävän patjan. Öljyn valuminen voidaan myös ohjata läpäisevän alueen ulkopuolelle padottavaksi tai johtaa esimerkiksi muovikalvolla tiivistettyihin painanteisiin. Jos mitkään edellä mainituista toimenpiteistä eivät ole mahdollisia ja suuria öljymääriä uhkaa painua maaperään, on öljyn levittäminen laajallekin alueelle pieninä määrinä parempi ratkaisu kuin öljyn imeytymisen yhdestä kohdasta pohjaveden kapillaarialueeseen, varsinkin jos pohjavesi on yli 5 m syvyydessä.

Eräs tapa torjua vahingon leviämisen on öljyn polttaminen esimerkiksi suoraan vuotokohdassa laitteet ensin pois siirtäen. Tällöin on lisävahinkojen estäminen tärkeää. Yleensä polttaminen tulee jättää palokunnan tehtäväksi.

Pohjaveden asema, virtaussuunta ja -nopeus ovat oleellisesti tapahtuman kulkuun vaikuttavina selvitettävä viimeistään tässä yhteydessä.

Mikäli pohjavesi on lähellä maanpintaa läpäisevässä maaperässä, kannattaa öljyyntynyt maa usein kaivaa pois jo välittömien torjuntatoimenpiteiden yhteydessä. Lammikoitunut öljy otetaan talteen välivarastointisäiliöihin, säkkiputkiin, pressusäkkeihin, tiivis-pohjaisiin altaisiin tai suoraan säiliö- tai loka-autoihin. Imeytysainetta käytetään pienten öljymäärien keräykseen.

Mikäli pohjaveden pinta on syvällä ja öljy on päässyt tunkeutumaan syvälle maahan, ei öljyyntymän eli öljyisen maaperän kaivaminen onnistu tavanomaisella kaivukalustolla ilman suuria kustannuksia. Kaivamiskustannukset kohoavat jyrkästi 4 m syvyydestä alaspäin. Edellä mainitusta syystä tulisi kaivaminen suorittaa niin pian kuin mahdollista vahingon tapahtumisesta. Tällöin öljy saadaan ennenkuin se on saavuttanut lopulliset leviämisrajansa tai pohjaveden pinnan. Kaivamista tulisi jatkaa niin syvälle, kuin öljy on näkyvää tai öljyistä maata käsiteltäessä kädet tulevat öljyisiksi. On myös syytä tarkistaa leviämisen mahdollinen suuruus teoreettisen laskelman avulla. Pelkän hajun perusteella tapahtuvaa kaivamista tulee välttää. Näyte on syytä haistella riittävän kaukana leviämispaikalta.

Mikäli öljyyntymä ulottuu syvemmälle kuin 5 m, joudutaan öljyyntyneen maan kaivamisen ohella tai sijasta käyttämään pohjaveden pumppaamista, jolla estetään öljypitoisen pohjaveden virtaus vahinkopaikalta. Työ vaatii alaan perehtyneen asiantuntijan hyväksikäyttöä.

Torjuntatoimenpiteisiin kuuluu myös öljyn, öljyvesiseoksen, käytetyn imeytysaineen ja öljyyntyneen maan poiskuljetus ja niiden haitattoman sijoittamisen järjestäminen.

Öljyyntynyt ohut pintamaakerros voidaan poiskuljettamisen sijasta, ellei myöhemmän öljyvahingon syntyminen ole mahdollista, puhdistaa paikan päällä polttamalla tai kompostoimalla ja antamalla maan luonnollisen bakteeritoiminnan hajoitaa öljy. Prosessia voidaan nopeuttaa maan muokkauksella ja voimakkaalla lannoituksella.

Öljyyntynyt pintamaa voidaan puhdistaa myös polttamalla kasoissa. Koska kasojen tulee olla pieniä, korkeintaan noin 1 m³ suuruisia ja koska maata on polttamisen aikana käännettävä, soveltuu menetelmä hitautensa ja työläisyytensä vuoksi vain pienille maamäärille.

Puhdistustoimenpiteiden ulottaminen maaperään syntyneeseen öljyyntymään on perusteltavissa myös jos läheisyydessä on kaivoja, tai jos öljy uhkaa kulkeutua laajemmalle esimerkiksi salaojaa pitkin.

7.4

Jatkotoimet ja jälkitarkkailu

Jatkotoimet on suunniteltava niin, että ne korjaavat tilanteen entiselleen tai niin lähelle alkuperäistä tilaa kuin kohtuullisin kustannuksin on mahdollista. Jälkitoimet, esimerkiksi maisemointi, on suunniteltava hyvin. Tarvittaessa käytetään asiantuntijoita.

Jatkotoimien suunnittelun yhteydessä on pyrittävä selvittämään myös vahingosta kärsivän kanta.

Torjuntatoimenpiteiden onnistuvuuden arvioimiseksi ja mahdollisten vielä tarvittavien lisätoimenpiteiden suunnittelemiseksi sekä vahingon laadun ja laajuuden selvittämiseksi suositellaan jälkitarkkailua mittauksin. Mittauksien tulee olla tarkoituksenmukaisesti ajoitettuja ja niiden yhteydessä otetaan valvontanäytteitä, joista analysoidaan öljypitoisuus. Riittävän pitkänä tarkkailujaksona voitaneen yleensä pitää 3 vuotta. Mittausten ja näytteiden ottojen säännöllisyys takaa niiden luotettavuuden.

Todetut vaaratilanteet, vahingot, haitat, onnistuneet torjuntaratkaisut ja seurantatutkimusten tulokset on pyrittävä järjestelmällisesti kirjaamaan. Tämä on avuksi mahdollisten korvausvaatimusten käsittelyssä ja loppukatselmuksessa. Lisäksi saadaan käyttökelpoista tietoa vastaavanlaisten riskien vähentämiseksi ja torjuntamallien kehittämiseksi.

8. YHTEEENVETO JA PÄÄTELMÄT

Asfalttiasemalla käytetyt sideaineet ovat pohjaveden kannalta lähes vaarattomia, koska ne suuren viskositeettinsa ja tarttuvuutensa takia eivät juuri leviä maaperässä. Mahdollisena pohjaveden likaajana voidaan kuitenkin pitää sitä vähäistä määrää liukenevia ainesosia, joita sideaineet sisältävät. Siksi maahan päässyt sideaine suositellaan vietäväksi kaatopaikalle muun siivouksen yhteydessä.

Amiinit käyttäytyvät maassa kuten rasva. Ne pyrkivät pidentämään kiviainekseen eivätkä käytännöllisesti katsoen liukene veteen. Käyttömäärien vähäisyyden takia ei amiineja voi pitää asfalttiasemilla pohjaveden likaajina, mikäli annettuja ohjeita ja normaalia huolellisuutta näiden käsittelyssä noudatetaan.

Metyleenikloridi on herkästi haihtuvaa, joten maahan kaatunut neste haihtuu suureksi osaksi. Aineen liuottavat ominaisuudet irroittavat maarakeista eloperäisiä aineita, jotka saostuvat liuottimen haihtuessa. Saostuma saattaa olla vesiliukoinen ja siten muuttaa pohjaveden laatua. Pohjavesikerrokseen päässyt metyleenikloridi virtaa ohuena kalvona pohjaveden pinnalla, pidentymättä ja liukenematta.

Asfalttiasemalla käytettävistä aineista on lämmitykseen käytettävä öljy kaikkein vaarallisinta, koska ainemäärä on suuri ja pohjaveden kannalta polttoöljyn likaava vaikutus on voimakas. Polttoöljyn maahanpääsyn estämiseksi tehdyt suojatoimenpiteet ja polttoöljyn aiheuttaman uhan perusteella määritetyt suojetäisyydet ovat yleensä riittävät muidenkin asfalttiasemilla käytettävien aineiden muodostaman vaaran torjumiseksi.

Vaikutukseltaan ovat sekä kevyt että raskas polttoöljy samanlaisia. Kevyen polttoöljyn pienempi viskositeetti aiheuttaa sen nopeamman leviämisen maaperässä.

Tehokkaistakin varotoimista huolimatta maaperään voi päästä pieni määrä öljyä asfalttiaseman toiminnan kuluessa. Tämä korostaa suoja-toimenpiteiden ohella suojaetäisyyksien tarpeellisuutta. Varmemmin öljyvaa-
ra torjutaan, kun valitaan asemapaikka siten, että sen ympäristössä on vettä huonosti läpäisevä tai vettä pidättävä maaperä, joka muodostaa suljetun, pienialaisen pohjavesialtaan.

Suomen maaperän keskimääräisenä öljyn pidättämis-
kyky (lepopitoisuus) voidaan pitää turvaetäisyyksiä arvioitaessa 5 % huokostilavuudesta pohjavedenpinnan yläpuolisissa kerroksissa. Lepopitoisuus on ymmärrettävä lyhyen ajan (alle 1 vuosi) arvona, sillä sade- ja sulamisvesien pesevä vaikutus pienentää lepopitoisuuden alle 1/10. Eliötoiminta tuhoaa jäljelle jäävän osuuden usean vuoden kuluessa. Pohjavedenpinnan alapuolisten maakerrosten ei voida katsoa pidättävän öljyä ollenkaan, koska massamaisen öljyn tunkeuma on erittäin ohut ja pidätyskyky erittäin vähäinen. Liuennut öljy ei poistu pohjavedestä. Pitoisuutta pienentää ainoastaan sekoittuminen yhä suurempaan vesimassaan etäisyyden kasvaessa.

Tämän työn yhteydessä tehty leviämis- ja pidättymiskoe antoi pienikokoisenakin arvokkaita tietoja pidättymisen luonteesta, leviämisen laajuudesta ja nopeudesta. On kuitenkin varottava yleistämisestä tulosta siltä osin liikaa, joka poikkeaa kirjallisuudessa esitetyistä tiedoista. Maaperän ominaisuudet vaikuttavat öljyn leviämiseen ja pidättymiseen niin voimakkaasti, että nyt esille tulleet yleisten sääntöjen poikkeamat (lähinnä sadeveden huuhteluvaikutus) selittyvät rakeisuuden, vesipitoisuuden ja sulloutuneisuuden vaihteluilla. Tehty koe korostaa jokaisen tapauksen yksilöllisyyttä. Siksi on tapauskohtaisten olosuhteiden selvittäminen välttämätöntä vahinkotilanteen hallitsemiseksi ja mahdollisesti jo tapahtuneen vahingon korjaamiseksi.

Tapahtuneen vahingon torjunnassa on korostettava alkutoimenpiteiden ripeyttä sekä koko toiminnan johdonmukaisuutta. Torjuntatoimenpiteiden tavoitteet voidaan jakaa kahteen ryhmään: enemmän vahingon estämiseen ja jo syntyneen vahingon korjaamiseen. Enemmän vahingon syntyminen estäminen tapahtuu ensisijaisesti torjunnan alkutoimenpiteiden avulla. Jatko- ja jälkitimet tähtäävät syntyneen vahingon korjaamiseen. Näissä työvaiheissa on tärkeintä huolellisuus ja johdonmukaisuus.

KIRJALLISUUS JA AINEISTON LÄHTEET

Kirjallisuustutkimus

Kirjallisuusselvityksen tarkoituksena on koota saatavissa olevat tiedot asfalttiasemilla käytettävistä aineista, niiden ominaisuuksista ja vaikutuksista erityisesti pohjaveteen.

Kirjallisuusselvitystä varten valittiin yhdessä Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen tie- ja liikennelaboratorion tutkimus- ja informaatiopalvelua hoitavien henkilöiden kanssa seuraavat perushakusanat:

- asphalt
- asphalt plan
- bitumen
- bituminous
- environment
- ground water
- water pollution.

Em. sanojen ja näistä muodostettujen yhteensä 17 sanayhdistelmän avulla Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen teknillinen informaatiopalvelulaitos haki VTT:n tietokonepäätteellä viitteet seuraavista tietokannoista:

IRRD	International Road Research Documentation (Englanti)
NTIS	National Technical Information Service (USA)
Compendex	Engineering Index Inc. (USA)
Enviroline	Environmental Information Center (USA)
EPB	Environmental Periodical Bibliography (USA)
Pollution Abstracts	Data Courier (USA)
Chemical Abstracts	Chemical Abstracts Service (USA)

Em. tietokannoista saatiin yhteensä noin 70 kirjallisuusviitettä, joista kuitenkin valtaosa liittyi kaivosteollisuuteen, öljynjalostukseen tms. asfalttiasemia ja niiden ympäristövaikutuksia vain välillisesti koskettaviin aihepiireihin. Kirjallisuusviitteisiin liittyneiden lyhennelmien perusteella poimittiin aineistosta ne artikkelit ja julkaisut, joiden oletettiin käsittelevän asfalttiasemia. Näitä oli noin 10 % viitteistä. Julkaisujen lainausta, ostoa tai artikkelikopioiden saantia varten käännyttiin mm. seuraavien laitosten ja kirjastojen puoleen:

- VTT:n kirjasto
- VTT:n tie- ja liikennelaboratorion kirjasto
- Teknillisen korkeakoulun kirjasto
- Vesihallituksen kirjasto
- TVH:n kirjasto
- Liikenneturvan kirjasto
- Neste Oy:n kirjasto
- Maa ja Vesi Oy:n kirjasto
- Statens naturvårdsverk, Ruotsi
- Svenska Byggnadsentreprenörföreningen, Ruotsi

Kirjallisuusluettelossa on mainittu ne julkaisut, joita toimeksiannon yhteydessä on käytetty hyväksi. Luettelossa on lisäksi mainittu ne henkilöt, joita tehtävää suorittaessa on haastateltu ja joilta on saatu arvokasta apua erityisesti asfalttiasemien toimintaan liittyviä kysymyksiä selvitellessä.

Kirjallisuutta

Airaksinen J. U. 1978 Maa ja pohjavesihydrologia
Kust. Oy Pohjoinen, Oulu

Asfalttinormit 1979, RIL 134. 165 s.

The Asphalt Institute, 1975: Asphalt hot-mix
emission study. Research Report 75-1, USA.
Virtamo et al. (1978) mukaan

Billib, H. 1968 Wasseraufsichtsbehörde und Ölunfall.
Mull, R. Wasser und Boden 4/1968

Bäckman, L., Knutsson, G. & T.F. Yen (Eds) 1978:
Bitumens, Asphalts and Tar Sands. Development in
petroleum science 7. Elsevier. P. 1-25

Concawe: Report 1981

Connan, J. & Van der Weide, B.M., 1978:
Thermal evolution of natural asphalts. In:
Chilingarian & Yen (Eds) P. 27-55

Jolma, K. 1972: Öljyvahingot ja pohjavesi, diplomi-
työ, Helsingin teknillinen korkeakoulu

Suomela, T. 1972: Öljyn leviäminen ja läpäisevyys
maassa, diplomityö, Tampereen teknillinen korkeakoulu

Vanhala, P. 1972: Öljyn imeytyminen maahan, diplomi-
työ, Tampereen teknillinen korkeakoulu

Kapo, G. 1978: Vanadinium: Key to Venezuelan fossil hydrocarbons. In: Chilingarian & Yen (Eds) P. 213-241

Krejci-Graf, K., 1972: Encyclopedia of Geochemistry and Environmental Sciences. R.W. Fairbrigde, Williams et al. (1974) mukaan

Lääkintöhallitus 1971: Yleiskirje nro 1501

Markkula, V. 1973: Yleisten teiden päällysteet 1973. Asfaltti 13, 16-17

Matilainen, E., 1978: Tienpäällystystöissä käytettävien aineiden haitallisuus työntekijöille. Asfaltti 24, 14-17

Sax, N.I., 1969: Dangerous Properties of Industrial Materials, Van Nostrand Reinhold Co, New York. 1251 pp.

Sorvari, J., 1973: Ympäristönsuojelu asfaltti- ja murskausasemilla. Asfaltti 13, 31-35

Sosiaali- ja terveysministeriön päätös syöpäsairauden vaaraa aiheuttavista aineista. Suomen asetuskokoelma nro 879/1978

Speight, J.G., 1978: Thermal cracking of Athabasca bitumen. In: Chilingarian & Yen (Eds) P. 123-154

Suomen Rakennusinsinöörien liitto: Asfalttinormit 1979, RIL 134

TVL:n töissä vuonna 1978 käytetyt asfalttiasemat ja niiden kunto. TVH Tienrakennustoimisto 1979. Moniste

Tyligren, P. 1979: Vägbeläggning av öppen asfalt-emulsionsbetong, AEB Ö. SBEFs Vägforskningsgrupp (moniste)

Valtioneuvoston päätös työturvallisuuslain soveltamisesta syöpää aiheuttaviin aineisiin ja menetelmiin. Suomen asetuskokoelma nro 952/1975

Wen, C.S., Chilingarian, G.V. & Yen T.F., 1978: Properties and structure of bitumens. In: Chilingarian & Yen (Eds)

Vesihallitus 1978, Yhdyskuntien vedenhankinnalle tärkeät pohjavesialueet, toedotus 109

WHO, 1971: Drinking Water Criteria

Williams, S.L., Aulenbach D.B. & N.L. Clesceri, 1974: Sources and distribution of trace metals in aquatic environments. In. Rubin, A.J., (Eds): Aqueous - Environmental Chemistry of Metals. Ann.Arbor Science Publ. Inc. S. 77-127

Virtamo, M., Riala, R., Schimberg, R., Lund, G., Tolonen, M., Peltonen, Y. ja Eronen, R. 1978: Työterveyslaitos, Työolosuhteet 20, Bitumituotteet tienpäälystystyössä

Haastattelut

Hiekka, L. Asfalttiurakoitsijain Liitto ry
Kannisto, P VTT
Niemi, A. VTT
Rosenberg, T. VTT
Sorvari, J. Oy Viarecta

ISBN 951-46-5610-5